

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
-Sede di Forlì-

**CORSO DI LAUREA
IN INGEGNERIA MECCANICA**

Classe LM-33

TESI DI LAUREA

In Progettazione Meccanica e Costruzione di Macchine

**Valutazione economica e funzionale
dell'applicazione di un motore asincrono e di un
motore coppia ad un estrusore di materie
plastiche**

CANDIDATO

Antonio Pesare

RELATORE

Prof. Vincenzo Dal Re

CORRELATORI

Gabriele Pinardi

Filippo Pennacchioni

Anno accademico
2013/2014
Sessione I

Sommario

1 INTRODUZIONE	7
Scopo tesi	7
Situazione dell'industria della plastica	9
Panorama globale	9
Situazione europea	9
Importanza relativa del settore imballaggio	11
Analisi della suddivisione dell'industria della plastica	11
Situazione italiana	13
Storia del soffiaggio	15
Storia del soffiaggio in Italia	16
Gruppo Graham	19
Azienda	19
Prodotti Graham	19
Esempi di macchine Graham	21
ADV	21
UNIKA	23
ROTAX	24
SYSTEM	25
2 CICLO TECNOLOGICO	27
Premessa	27
Estrusione polimerica	27
Introduzione	27
Tipi di estrusori	28
Estrusori a vite singola	28
Funzionamento base	30
Geometria vite	31
Sezione di alimentazione (FeedSection)	31
Sezione di plastificazione	32
Sezione di dosaggio (Meteringsection)	32
Azionamento vite	33
Motore asincroni	33
Motore a corrente continua	33
Riduttori	34
Caratteristica di coppia costante	34
Cuscinetti reggispinta	35
Soffiaggio	37

Basi del processo	37
Motori elettrici	39
Macchine elettriche	39
Classificazione macchine	39
Motore a corrente continua	40
Brushed	40
Motori brushless	42
Motori a corrente alternata	43
Principio dei campi rotanti	43
Motore asincrono	44
Pregi e difetti motore asincrono	44
Motore sincrono	46
Pregi e difetti	46
Confronto motori elettrici	47
Motori a corrente continua	47
Vantaggi	47
Svantaggi	47
Motori sincroni a magneti permanenti	47
Vantaggi	47
Svantaggi	47
Motore asincrono trifase a gabbia di scoiattolo	47
Vantaggi	47
Svantaggi	48
3 DIRECT DRIVE E MOTORI COPPIA	49
Introduzione	49
Vantaggi direct drive per basse velocità	50
Esempi direct drive	52
1.TURBINE EOLICHE	52
2.PROPULSORI NAVALI	53
3. ASCENSORI	54
4.LAVATRICI	55
5. INDUSTRIA CARTACEA	55
6.IMPIANTI DI DEPURAZIONE DELL'ACQUA	56
Uso dei magneti permanenti nella costruzione di macchine elettriche	57
Motori coppia	59
Difetti	61
4 VALUTAZIONE SOLUZIONE ATTUALE	63
Soluzione attualmente adottata dall'azienda	63

Introduzione	63
Consumo elettrico	65
Costo installazione	67
Calcolo coppia richiesta all'utente	70
Motori	70
Riduttori	72
Peso	73
Motore	73
Riduttore	74
Peso totale	75
5 SCELTA MOTORI COPPIA	77
Introduzione	77
Calcolo specifiche motore coppia	78
Scelta motori coppia	79
Primo fornitore: Baumüller	79
Costo	80
Rendimento	82
Peso	82
Secondo fornitore: Parker	84
Costo	85
Rendimento	86
Peso	90
6 CONFRONTI	91
Confronto con Baumüller	91
Costo installazione	91
Consumo energetico	92
Peso	95
Confronto con Parker	96
Costo installazione	96
Consumo energetico	97
Peso	99
Riepilogo	100
Costo	100
Consumo elettrico	101
Peso	102
7 CONCLUSIONI	103
Conclusione	103

Costo installazione	103
Consumo energetico	103
Peso	104
Considerazioni	104
Soluzione costruttiva	105
BIBLIOGRAFIA	109

1 Introduzione

Scopo tesi

Da diversi anni si applica con maggior frequenza il concetto di “direct drive” cioè l’applicazione diretta del motore all’utilizzatore, in modo da eliminare elementi di connessione intermedi (riduttori, pulegge, ecc..)

Ciò porta a molteplici vantaggi:

- *Miglioramento del rendimento vista la mancanza di organi intermedi di connessione (come ad esempio riduttori di velocità)*
- *Riduzione generale degli ingombri*
- *Semplificazione dell’intera struttura*
- *Riduzione della manutenzione vista la minor presenza di elementi meccanici lungo il ciclo produttivo*

Anche nell’industria della plastica è aumentato l’interesse nei confronti di questa tecnologia (“direct drive”).

L’azienda Graham Packaging Company Italia s.r.l. è un’azienda che produce macchinari industriali per la produzione di packaging plastico (bottiglie, taniche, contenitori farmaceutici, ecc..). Tali macchine montano un gruppo di estrusione a monte della macchina che alimenta il gruppo di soffiaggio.

Nello specifico, per quanto riguarda il gruppo di estrusione posto all’inizio del ciclo produttivo, si possono intuire alcuni vantaggi derivanti dall’applicazione del “direct drive”.

Nella forma attuale della soluzione adottata dall’azienda la vite di estrusione che gira a velocità relativamente basse (50-120 RPM) è collegata tramite un riduttore ad un motore asincrono trifase che ruota a velocità significativamente superiori (ca. 1500 RPM).

L’ipotesi di una soluzione differente prevedrebbe l’accoppiamento della vite ad un motore coppia (torque motor).

Esso è caratterizzato da una elevata coppia e giri relativamente bassi. I vantaggi di tale accoppiamento sarebbero fondamentalmente due:

- *Risparmio energetico derivante dall'esclusione del riduttore dal meccanismo*
- *Maggiore facilità di regolazione della velocità e di conseguenza anche della portata dell'estrusore*

Lo scopo della tesi è quello di valutare nel particolare l'attuale situazione dal punto di vista del consumo energetico dei prodotti dell'azienda; e quindi nello specifico delle 11 taglie di estrusori.

Successivamente valutare una soluzione con motore coppia consultando diversi fornitori di motori e fare una comparazione tra le due varianti per valutare l'effettivo vantaggio dal punto di vista dell'efficienza.

Inoltre ho effettuato una valutazione sui vantaggi economici derivanti da questa applicazione.

Situazione dell'industria della plastica

Panorama globale

L'industria plastica è di estrema importanza e rilevanza nel mercato globale ed il suo impatto economico è destinato ad incrementare con il suo andamento crescente nell'economia europea e mondiale.

La presenza della plastica è visibile in ogni campo dell'industria; anche in settori che fino a poco tempo fa non presentavano materie plastiche nel loro ciclo produttivo come per esempio quello tessile o dell'abbigliamento in generale ,come scarpe e magliette; soprattutto nel settore sportivo i materiali sintetici sono in crescita.

Inoltre è un ottimo elemento dal punto di vista del recupero delle risorse e del riciclaggio. In un momento storico nel quale, nonostante la crisi economica, l'eco sostenibilità continua ad essere di estrema importanza, la plastica presenta caratteristiche di recuperabilità che lo rendono un materiale sempre più utilizzato.

Il recupero della plastica dopo il ciclo vita del prodotto risulta un “plus” molto importante. La sensibilità del consumatore finale e le normative europee e mondiali ne incentivano lo sviluppo e l'uso in quasi tutti i campi dell'industria (abbigliamento, alimentare, cosmetica).

Dal punto di vista mondiale si è notato che negli anni della crisi economica (2008-2009) mentre molti altri settori hanno visto una perdita consistente del fatturato il settore della plastica ha rallentato senza però andare in recessione per poi ritornare a sensibili incrementi l'anno successivo (2010).

Situazione europea

Parlando della rilevanza dal punto di vista economico nella sola UE 1,45 milioni di persone lavorano nel campo della plastica per un fatturato annuo di circa 300 miliardi di euro nell' EU-27 nel 2011, suddivisi in 89 miliardi di euro nella produzione e 194 miliardi di euro nella trasformazione. Entrambi i settori hanno subito un incremento di fatturato rispetto al 2010.

Considerando che a livello globale il settore non ha subito perdite nel 2008 e nel 2009, cioè negli anni principali della crisi economica, e ha ripreso a crescere nei 2 anni successivi possiamo notare una notevole stabilità nel settore dato che si ha un trend di crescita sostanzialmente costante dal 1950.

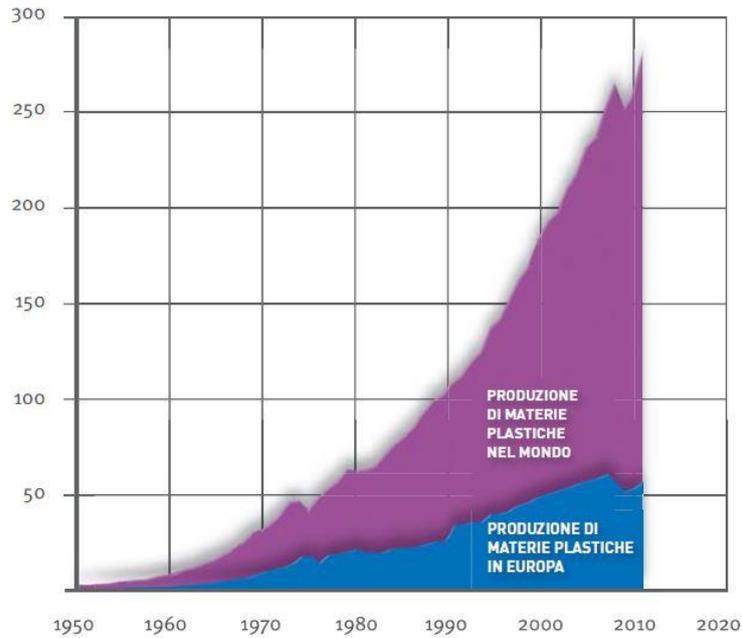


Fig. 1.1 Andamento fatturato settore plastica in Europa e nel mondo

Parallelamente è aumentata la concorrenza in questo settore. Infatti, i tassi di crescita del mercato della plastica a livello globale sono influenzati da quelli asiatici che sono superiori alla media. La stabilità del mercato globale nel biennio 2008-2009, dovuta alla crescita sensibile del mercato asiatico, si traduce con una sostanziale recessione di quello europeo. Ciò è dovuto ad una più elevata capacità produttiva ed ad un quadro legislativo meno severo dei mercati produttivi emergenti.

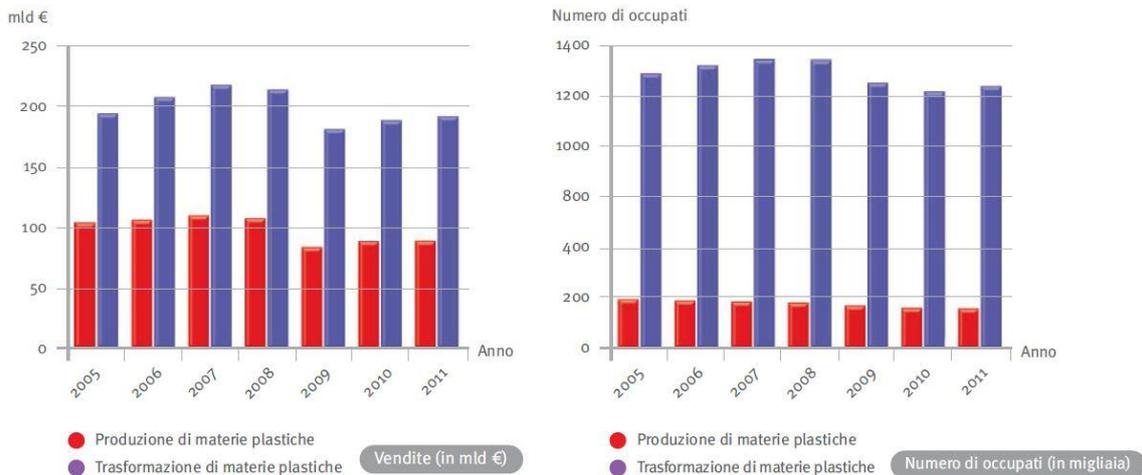


Fig. 1.2 quadro europeo industria plastica

Importanza relativa del settore imballaggio

Per quanto riguarda nello specifico l'industria europea della trasformazione della plastica in materiali di imballaggio essa rappresenta quasi il 40% del totale.

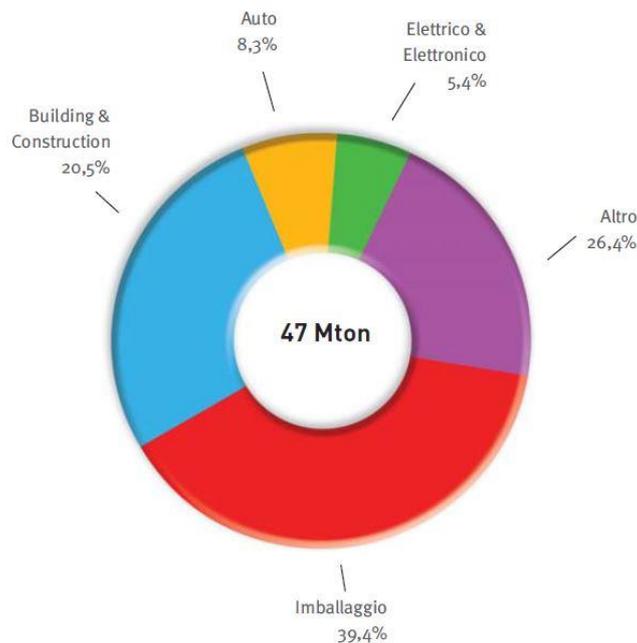


Fig.1.3 suddivisione dei settori dell'industria plastica

Se andiamo ad analizzare alcuni aspetti che possono aver influenzato un rallentamento europeo per quanto riguarda l'industria della produzione di prodotti plastici possiamo citare:

- *Miglioramento della gestione della fine vita della plastica*
- *Crescente consapevolezza dei cittadini verso le tematiche di eco sostenibilità*

Si è notato un aumento della quantità di plastica riciclata del 8,7% e un generale decremento della quantità assoluta di plastica in discarica nonostante un aumento del 2,4% dei rifiuti di plastica post-consumo dimostrando che effettivamente l'effetto delle politiche di recupero è notevole.

Analisi della suddivisione dell'industria della plastica

L'industria della plastica si suddivide in tre settori principali:

- *produzione della materia prima*
- *produzione di macchinari per la trasformazione delle materie plastiche (macchinari industriali)*

- *produzione di manufatti di plastica (nelle più svariate e note forme: da bottiglie a magliette, da componentistica per l'automotive a giocattoli)*

Per quanto riguarda l'economia europea, gli effetti della crisi sul settore della plastica, nonostante a livello globale si sia notata una sostanziale tenuta per il biennio 2008-2009, sono stati sensibili.

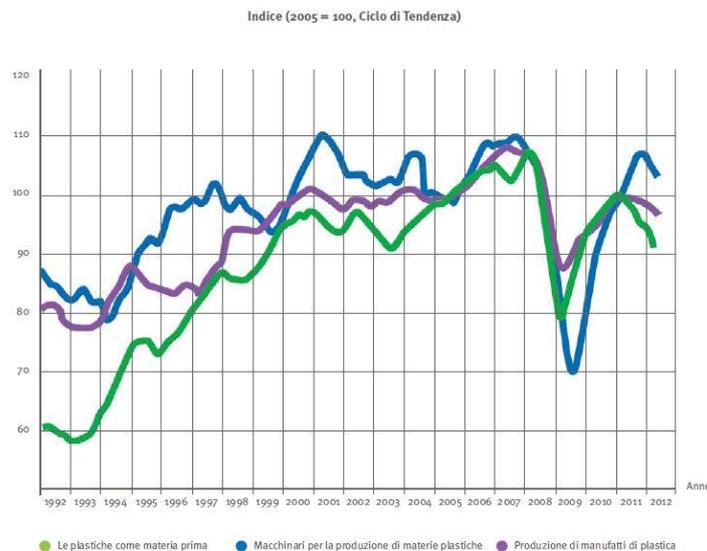


Fig. 1.4 andamento dei tre settori della plastica

Si nota un quasi totale recupero di fatturato nell'anno 2010 successivo alla crisi con un particolare incremento di fatturato del settore produzione macchinari. È principalmente dovuto ad un effetto "rimbalzo" dopo la pesante ritrazione del mercato del 40%.

Tutto ciò ha fortemente influenzato l'industria della produzione di macchinari per la produzione di materie plastiche.

Infatti, le aziende che hanno resistito alla flessione di mercato hanno cercato di reagire al calo di produzione e alla crescente concorrenza asiatica con:

- *un più stringente controllo dei costi*
- *la creazione di macchine più efficienti, anche dal punto di vista del consumo energetico*
- *Fusione di aziende dello stesso settore per aumentarne la produttività*

Infatti, sempre più, il cliente (le industrie che producono oggettistica di plastica) richiedono macchine efficienti dal punto di vista energetico per fronteggiare l'aumento del costo dell'energia elettrica in continuo aumento e macchine affidabili per evitare interruzioni alla catena produttiva.

Situazione italiana

Riporto in seguito la situazione italiana del mercato di macchinari di produzione di prodotti plastici visto che l'azienda Graham Packaging Italia Company s.r.l. opera oltre che nel mondo anche nel mercato italiano.

I dati sono stati forniti dall'associazione nazionale costruttori di macchine (Assocomplast).

Secondo il bilancio di metà anno 2012 l'import-export del settore ha registrato un aumento del 6% per quanto riguarda l'import e dell'11% per l'export rapportato allo stesso periodo del 2011. Si rileva un aumento del fatturato italiano oltre la soglia dei 900 milioni di euro.

Una delle principali tipologie di macchine sono gli estrusori. Essi costituiscono il 12% circa sul totale del fatturato e continuano ad avere tassi di crescita a due cifre, fino a sfiorare i venti punti rispetto all'anno precedente. Circa la metà delle vendite all'estero di linee di estrusione è stata diretta in ambito europeo.

Si registra, inoltre, anche un aumento molto significativo del fatturato derivante dalle macchine per soffiaggio (+16%) e gli stampi (+28%), che pesano per il 28% sul totale.

Possiamo notare, per quanto riguarda il ciclo produttivo seguito dalle macchine Graham (estrusione più soffiaggio), un utilizzo di tecnologie caratterizzate da una forte crescita.

Frenano invece (-14%) le esportazioni di macchine a iniezione, caduta riconducibile in primo luogo a minori forniture nel Vecchio Continente, soprattutto in Russia.

Storia del soffiaggio

Anche se le materie plastiche sono conosciute solamente dal 1862, il soffiaggio non è una tecnologia nuova. Ci sono molti esempi di bottiglie di vetro formate per soffiaggio e artefatti che datano tale tecnologia in età preistoriche.

Per vedere, però, il soffiaggio plastico, che fondamentalemente segue lo stesso principio del vetro, bisogna aspettare il 1930. All'epoca i primi prodotti ad essere ottenuti con tale tecnica furono ornamenti di plastica per alberi di natale.

L'invenzione di polietilene a bassa densità qualche anno più tardi ha dato luogo a una nuova spinta all'industria di soffiaggio e di bottiglie di plastica. I progressi e gli sviluppi comunque rimasero stagnanti fino al 1945, poiché le forniture di tale materiale erano principalmente riservati ad applicazioni come radar ed antenne.

I primi prodotti commercializzati ottenuti tramite soffiaggio del polietilene sono stati una bottiglia di plastica "StopettePowderPuffer" venduta negli USA alla fine degli anni '40 e la prima serie di bottiglie di plastica per uso farmaceutico prodotte in Inghilterra.

È stato seguito velocemente da numerose altre applicazioni di imballaggio, inclusa la "Plastic Lemon" che divenne il primo contenitore di plastica per alimenti mai venduto prima.



Fig.1.5 Plastic Lemon

Negli anni 50, con la scoperta del polietilene ad alta densità, che ha fortemente aumentato le caratteristiche meccaniche della plastica, ha dato la possibilità di estendere la tecnologia dell'estrusione e del soffiaggio plastico a molti altri campi dando un forte impulso allo sviluppo e alla crescita dell'industria del soffiaggio.

Il principio base del processo consiste nell'immettere aria compressa dentro un orifizio di un cilindro chiuso di plastica calda provocando la espansione dello stesso che aderendo contro lo stampo si forma secondo il profilo dello stesso; inoltre al contatto la plastica si raffredda e il prodotto finito può uscire all'apertura delle due metà dello stampo.

Attualmente è richiesta una produzione capace di garantire alta qualità e al contempo produzioni elevate. I prodotti che ne derivano possono variare da dimensioni di pochi centimetri a componentistica di dimensioni molto maggiori.

Storia del soffiaggio in Italia

La storia del soffiaggio di corpi cavi incominciò in Italia con Giuseppe Moi, il quale a partire dal 1937 fino al 1987, costituì, in Italia ed all'estero, una trentina di società operanti nel settore delle macchine per materie plastiche. Nel 1950 a Milano Moi fondò la G.Moi, che un anno più tardi fabbricò la prima soffiatrice italiana da mezzo litro, dotata di estrusori a doppia vite, venduta alla società Grecchi di Copiano, Provincia di Milano, e destinata alla produzione di flaconi per detersivi. A questa soffiatrice seguirono altre macchine da 2, 10, 50 e 500 litri (1962); a partire dai modelli da 10 litri, gli impianti erano attrezzati con testa di accumulo. L'attività della G.Moi cessò nel 1980 quando i brevetti e la tecnologia furono trasferiti alla Triulzi, che continuò la costruzione di queste soffiatrici destinate soprattutto alla produzione di grandi manufatti per l'industria automobilistica. Giuseppe Moi può vantare anche la costruzione delle prime macchine per l'estrusione di lastre e tubi di PE espanso, commercializzate anche negli Stati Uniti.

La storia continua con due società un tempo separate ed oggi divisioni del gruppo americano Uniloy: la Moretti e la Co-mec. La prima fu fondata nel 1957 dai fratelli Domenico e Giorgio Moretti ad Abbiategrasso, Milano, con la ragione sociale di "Officina meccanica per la produzione di macchine e stampi per il soffiaggio di corpi cavi in materiale plastico". Oltre a queste macchine la società costruì estrusori, teste per l'estrusione, filiere e traini per tapparelle e piccole calandre. Una delle prime soffiatrici della Moretti, costruita nel 1959, era di tipo pneumatico ad estrusione continua per la produzione di contenitori per detersivi con capacità di due litri. Successivamente fu realizzato il meccanismo denominato "bilancino", così chiamato perché portava avanti ed indietro il parison. Nel 1961 fu costruita la prima macchina per l'estrusione soffiaggio di contenitori fino a 30 litri e la società si impose come una delle principali costruttrici di macchine per il soffiaggio di pezzi tecnici.

La Co-Mec, fondata nel 1960, operava inizialmente a Firenze nel campo della trasformazione dei materiali plastici. In seguito al trasferimento della sede produttiva fu avviata anche la costruzione di macchine. Fino al 1965 la Co-Mec costruiva soffiatrici pneumatiche con capacità massima di 5 litri; nel 1966 fu messa sul mercato la prima macchina idraulica, a doppia testa per produzione di contenitori con capacità massima di un litro ed a testa semplice per contenitori fino a 5 litri. Verso la metà degli anni sessanta furono fabbricate teste speciali per bicomponenti (PVC e PE), con colorazione a strisce.

È da citare, in questo periodo, anche l'azione promotrice di Piero Giacobbe, il quale fondò nel 1960 la ASCO (Associazione costruttori macchine materie plastiche), tale associazione mise sul mercato impianti di soffiaggio corpi cavi sfruttando le soffiatrici della OMEA di Trezano. Il primo impianti di soffiaggio, chiamato Olimpia, risale al 1960, mentre è di un anno dopo il modello Mini Magic. L'impianto era composto da un estrusore TOR con diametro della vite di 38 mm, lunghezza pari a 22 volte il diametro, e da una soffiatrice con testa di accumulo; l'impianto era inoltre dotato di un motore oleodinamico, quadro di controllo e termoregolazione a tre zone con centralina di comando (la linea completa costava 3558000 delle lire di allora).

All'inizio degli anni settanta, anche in Italia, le industrie costruttrici di macchine per il soffiaggio di corpi cavi aumentarono notevolmente, anche se a quei tempi la produzione era ancora limitata all'estrusione soffiaggio e non all'iniezione soffiaggio. L'offerta copriva dalle piccole unità per contenitori farmaceutici sino agli impianti completi per fusti e contenitori di mille litri e oltre. Risale a quegli anni lo sblocco dell'impiego del PVC atossico, stabilizzato ai raggi UV ed antiurto, per il soffiaggio di bottiglie destinate alle acque minerali non gasate. Quattro stabilimenti di imbottigliamento incominciarono ad adottare il PVC per questo impiego.

Nel 1970 in Italia i costruttori presenti erano 11, contro gli appena 4 del 1960, inoltre nel 1971 l'industria delle macchine per materie plastiche italiane vantava la quarta produzione a livello mondiale dopo gli Stati Uniti, Giappone e Germania. Sempre nei primi anni '70 la Co-Mec mise in commercio una soffiatrice con ugello di soffiaggio dall'alto e con calibrazione del collo, contemporaneamente sviluppo l'estrusione-soffiaggio di corpi cavi di nailon ad elevata viscosità e, nel 1973, propose la Serie CS anche per l'estrusione contemporanea di spessori contenenti fino a tre strati. La Fratelli Moretti costruiva in quegli anni quattro modelli di soffiatrice Serie M, ad un gruppo, per contenitori di PVC fino a sei litri di capacità e 4 modelli MB a due gruppi con materozzamento ed espulsione automatici; inoltre la *serie compact*, con cinque modelli per contenitori da 20 a 250 litri ed estrusori fino a 120 mm di diametro. La OMEA forniva due modelli di soffiatrice automatica con estrusore verticale e quattro tipi con estrusore orizzontale (per contenitori fino a 50 litri): la testa era di tipo ad accumulo con regolazione dello spessore del parison.

Anche le società nate negli anni sessanta si diedero da fare nello sviluppo del settore. La Mossi & Ghisolfi si era specializzata nella costruzione di impianti completi per la produzione di bottiglie per latte, commercializzava inoltre le macchine della francese Sidel, destinate alla realizzazione di bottiglie di PVC per acqua minerale, vino ed olio. La Locati e la Pavesi di Milano si era fatta un nome con il modello LP 200 per contenitori fino a 5 litri, caratterizzato da un sistema di chiusura delle piastre attuato mediante robuste ginocchiere. La Magic, di proprietà di Piero Giacobbe, acquisì ben presto un posto importante nel panorama dei costruttori italiani di macchine per contenitori fino a 200 litri; in particolare vanno segnalati i modelli Miniblow (per la

lavorazione del PVC rigido per uso alimentare, con smaterozzamento automatico in produzione e calibratura colli) e Maxiblow (per corpi cavi sino a 50 litri con testa ad accumulo e regolazione dello spessore e del peso del parison.

L'inizio degli anni settanta fu caratterizzato, per questa tecnologia produttiva, da una vera e propria fioritura di macchine per la lavorazione del PVC. La UCPM costruiva la MEGA 2000 V per contenitori fino a 1.200 cm³, con tempi per ciclo da 3 a 12 minuti; la testa era del tipo per estrusione verticale diretta, senza raccordi ad angolo.

Nel 1979 i costruttori italiani furono i primi a produrre e commercializzare macchine a iniezione dotate di microprocessore per il controllo delle variabili di lavoro, precedendo la concorrenza tedesca di qualche tempo e quelle giapponese e americana di molti anni.

Gli anni ottanta furono per l'industria italiana del soffiaggio un periodo di espansione, poiché si andarono ad abbracciare ulteriori quote di mercato. In questi anni nuove aziende entrarono nel settore della lavorazione plastica per soffiaggio, mentre altre, a causa dell'eccessiva concorrenza, furono costrette a riconvertire la propria produzione o furono assorbite da gruppi internazionali.

Gruppo Graham

Azienda

Graham Packaging, con sede a York, Pennsylvania, è una azienda leader nel mondo per la progettazione, produzione e vendita di packaging plastico ottenuto per soffiaggio per l'industria alimentare, cosmetica, automobilistica.

Produce più di 20 miliardi di contenitori all'anno nei suoi 97 stabilimenti in America del nord, Europa, America del sud e Cina.

È leader americano per la fornitura di contenitori plastici per succhi, energydrinks, yogurt, birre, condimenti.

é, inoltre, leader negli Stati Uniti, Canada, e Brasile come fornitore di taniche per oli da motore.



Fig. 1.6 Graham Packaging Company

Prodotti Graham

La Graham Packaging produce macchine automatiche per la produzione di packaging plastico e nello specifico per la produzione di bottiglie di plastica.

La gamma di prodotti varia a seconda delle taglie e configurazioni a seconda delle esigenze del cliente.

Le esigenze possono essere in funzione dei volumi produttivi; oppure esigenze riguardanti la qualità del prodotto finito. Nel caso di prodotti destinati al mercato alimentare o farmaceutico è possibile dotare la macchina di un gruppo di sterilizzazione prodotto.

Ad ogni modo ogni tipo di macchina è composta da:

- *componenti base, caratteristici di tutte le macchine o comunque di tutte le macchine dello stesso tipo*

- *componenti aggiuntivi standard (come appunto la sterilizzazione prodotto, o l'aggiunta o meno di stazioni di controllo digitale della macchina)*
- *componenti modulabili in funzione del prodotto finale (il contenitore di plastica) e che quindi cambiano per ogni cliente (stampi; teste di plastificazione)*

Esempi di macchine Graham

ADV

La ADV, che è la abbreviazione di Advanced, è un tipo di macchina che esemplifica al meglio la possibilità di configurazione a seconda delle esigenze produttive del cliente.

Infatti è possibile montare un solo carro che monta gli stampi (ADV); montarne due che in maniera sincronizzata vanno a posizionarsi sotto all'estrusore (ADV2) raddoppiando il volume produttivo, poiché mentre un carro si sposta per far uscire il prodotto, l'altro carro si posiziona sotto all'uscita parison. È possibile inoltre adottare una configurazione a 4 carri (ADV4) per un'ulteriore incremento della produzione oraria. Ovviamente questo comporta un aumento del costo poiché anche se parte della macchina rimane costante, la parte a valle (zona soffiaggio) e la parte a monte (zona estrusione) dovrà subire un ampliamento per assecondare le superiori esigenze.



Fig. 1.7 ADV



Fig. 1.8 ADV4

UNIKA

L'Unika, come suggerisce il nome, è una macchina che oltre alla zona produzione bottiglie è integrata con la zona riempimento. Il che chiaramente può portare un notevole vantaggio per quanto riguarda l'accorciamento della linea prodotto con conseguente minor ingombro della zona lavoro.



Fig. 1.9 UNIKA

ROTAX

Di concezione diversa rispetto alle altre per quanto riguarda la movimentazione carri, essa monta gli stampi su un gruppo rotante. È caratterizzata da una capacità produttiva superiore.



Fig. 1.10 ROTAX

SYSTEM



Fig. 1.11 SYSTEM 4000



Fig. 1.12 SYSTEM 900

2 Ciclo tecnologico

Premessa

L'azienda GRAHAM produce macchine automatiche per la produzione di bottiglie di plastica. Il ciclo produttivo si può dividere, in estrema sintesi, in due fasi distinte anche se continue. La prima di estrusione in cui la plastica si trasforma da granuli in forma solida a parison, cioè una forma di plastica fusa.

Nella seconda, la plastica, tramite soffiaggio dentro uno stampo adeguatamente formato, si trasforma nel prodotto finale.

In maniera del tutto simmetrica anche la macchina si può dividere in due parti. La parte a monte, con la zona estrusione comprendente l'estrusore e la testa di plastificazione, e la zona a valle, con il gruppo di soffiaggio, gli stampi, i carri di movimentazione stampi.

Estrusione polimerica

Introduzione

Tra le diverse tecnologie di lavorazione dei materiali polimerici, l'estrusione occupa una preminente per versatilità e vastità d'impiego. L'estrusione è un processo tecnologico che opera in continuo e in condizioni stazionarie per produrre diversi tipi di manufatti. È così possibile ottenere estrusi a sezioni simmetriche come quelle circolari (tubi cavi o pieni) e rettangolari (lastre e film) oppure a sezioni asimmetriche (travi a C, L, T, ecc.). L'estrusore è sostanzialmente una pompa adatta a fondere (o, più in generale, a plastificare) e trasportare fluidi di elevata viscosità. La formatura avviene per spinta del fuso polimerico attraverso una *testa di estrusione* (detta anche *filiera*) destinata ad impartire la forma desiderata, mentre la forma del manufatto viene stabilizzata per raffreddamento. L'estrusore può essere *monoviteo* *bivite*: nel secondo caso le due viti parallele possono ruotare nello stesso senso (estrusore bivite co-rotante, se è necessario realizzare pressioni particolarmente elevate) o in senso opposto (estrusore bivite contro-rotante, quando occorre ottimizzare il mescolamento di diversi componenti).



Fig. 2.1 estrusore plastico

Tipi di estrusori

Gli estrusori nell'industria polimerica esistono in diverse forme

La principale distinzione consiste nella loro modalità operativa; continua o discontinua. Gli estrusori continui operano per mezzo di un membro rotante mentre gli estrusori discontinui, invece, per mezzo di un membro con moto alterno.

Tra gli estrusori continui andiamo ad analizzare più nello specifico gli estrusori a vite ed in particolare gli estrusori a vite singola, poiché sono quest'ultimi usati nella Graham Packaging Italia Company.

Estrusori a vite singola

L'estrusore a vite singola è il tipo di estrusore più importante nell'industria dei polimeri. I vantaggi principali si possono riassumere in costi modesti, geometria semplice e lineare, robustezza ed affidabilità e un rapporto $\frac{\text{rendimento}}{\text{costi}}$ favorevole.



Fig. 2.2 Viti di plastificazione

Una vite di estrusione si divide in 3 sezioni distinte dal punto di vista geometrico.

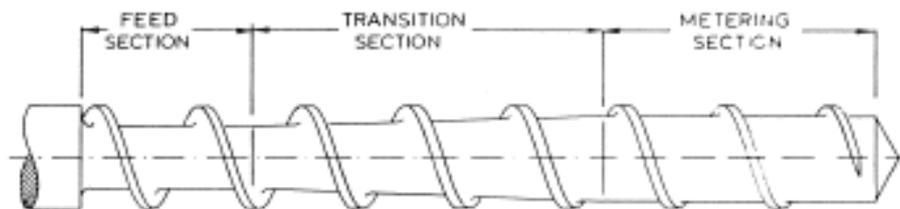


Fig. 2.3 Sezioni geometriche vite di plastificazione

Questo tipo di geometria viene chiamata anche a “single stage” ; ciò si riferisce al fatto che, anche se la vite ha 3 differenti settori geometrici, ne ha solo una di compressione.

La sezione iniziale è quella di alimentazione (Feedsection) ed ha generalmente fianchiprofondi ed è vicina all’apertura verso la tramoggia. Il materiale, in questa sezione, sarà perlopiù allo stato solido. Si distingue dalla sezione finale (Meteringsection) che presenta fianchi di dimensioni minori e viene percorsa dal materiale allo stato fuso.

La sezione intermedia (Transitionsection) collega le due sezioni poste all’estremità e al principio della vite e viene chiamata anche “Compressionsection”.

La sezione che consente il passaggio del materiale diminuisce dall’inizio alla fine in maniera lineare, ciò provoca una compressione del materiale stesso nel canale della vite; questa compressione è essenziale per il corretto funzionamento dell’estrusore.

La taglia dell'estrusore viene spesso definita oltre dalla sua lunghezza anche dal rapporto L/D cioè il rapporto tra il diametro della vite e la sua lunghezza.

Funzionamento base

Il materiale entra nella sezione di ingresso ricavata nel cilindro da una tramoggia posta al di sopra di esso. Generalmente è in forma granulare e cade direttamente nel cilindro a causa della forza di gravità. Per alcuni materiali particolarmente secchi sarà necessario adottare speciali misure onde evitare che si blocchi nella tramoggia come l'applicazione di elementi vibranti alla pedana che sorregge la tramoggia stessa.

Dalla tramoggia il materiale passa alla prima sezione dell'estrusore posizionandosi tra vite e cilindro.

Il cilindro è fisso mentre la vite ha un movimento rotativo. Come risultato di ciò si vengono a creare azioni di attrito tra il materiale e la superficie della vite e del cilindro. Questi attriti sono causa dello spostamento in avanti del materiale, almeno fino a quando esso è allo stato solido.

All'avanzare del materiale, esso aumenterà di temperatura come conseguenza dell'attrito che si viene a generare e del calore derivante dalle resistenze elettriche poste lungo il cilindro. Quando la temperatura del cilindro supera il punto di fusione, allora una pellicola di materiale fuso si formerà sulla superficie del cilindro stesso. È qui che inizia la zona di plastificazione; che non coincide necessariamente con la sezione di compressione. I confini delle zone dipenderanno dalle proprietà del materiale, la geometria della macchina e dalle condizioni operative. Le sezioni geometriche, invece, della vite sono fissate da progetto e quindi non cambiano in funzione del materiale o delle condizioni di funzionamento.

Percorrendo la lunghezza dell'estrusore la percentuale di materiale solido diminuirà in favore del materiale fuso. Quando tutto il materiale solido sarà convertito in fuso allora termina la zona di plastificazione ed inizia quella di convogliamento del fuso. In quest'ultima zona il materiale viene semplicemente pompato verso la matrice (testa di plastificazione).

Mentre il materiale liquido attraversa la matrice esso prende la forma di quest'ultima e all'uscita la sezione del parison corrisponde all'incirca alla sezione finale della matrice; può esserci un leggero restringimento o allargamento della sezione in funzione della pressione nei condotti della matrice e della forma geometrica della sua sezione finale.

Siccome la matrice esercita una resistenza all'avanzamento del polimero è necessaria una certa pressione per consentire lo scorrere nello stesso.

Questa pressione è determinata dalla forma della matrice, la temperatura del polimero fuso, la portata e le proprietà reologiche del materiale. È importante ricordare che la

pressione dentro alla testa di plastificazione è determinata dalla matrice stessa, e non dall'estrusore a monte.



Fig. 2.4 Parison

Geometria vite

Analizziamo più nello specifico le sezioni geometriche della vite.

Sezione di alimentazione (FeedSection)

Come accennato nel paragrafo precedente è la parte iniziale della vite nel quale viene introdotto il polimero proveniente dalla tramoggia.

Profondità

Tipicamente questa è il segmento della vite con i fianchi più pronunciati. Per viti piccole (inferiori a 2,5'') compare il rischio di rottura per torsione ed è richiesta particolare attenzione al dimensionamento della geometria.

Come regola empirica la profondità della Feedsection (distanza tra cilindro e diametro interno della vite) non deve essere maggiore di:

$$Fd_{max} = 0.2 \text{ Diametro vite (2.1)}$$

Se la vite di estrusione necessita di una profondità maggiore sarà necessario affidarsi a calcoli più precisi per verificare la resistenza della sezione.

Lunghezza

La funzione principale della “Feedsection” di una vite di estrusione è garantire il convogliamento del polimero allo stato solido. La teoria del convogliamento dei solidi suggerisce che la plastica deve aderire al cilindro e scorrere sulla vite al fine di far procedere in avanti il polimero. Per far sì che ciò accada il coefficiente d’attrito tra cilindro e polimero deve essere superiore di quello tra polimero e base della vite.

Per la maggior parte delle resine una lunghezza della sezione di 4-5 volte il diametro garantisce una movimentazione adeguata del materiale. Nel caso di resine con coefficienti di attrito molto bassi la lunghezza può invece arrivare anche a 10 volte il diametro.

È bene anche menzionare che è di beneficio dotare la vite di un sistema di raffreddamento per ridurre l’attrito tra polimero e base della vite.

Sezione di plastificazione

La sezione di plastificazione (“Transitionsection”) o sezione di compressione è la porzione di vite nella quale avviene la maggior parte del processo di fusione. In questa porzione la sezione della vite passa dalla dimensione di alimentazione a quella di dosaggio. Inoltre, il diametro della vite passa da quello di alimentazione a quello di dosaggio. Per la progressiva riduzione dello spazio disponibile il materiale viene spinto verso il cilindro dell’estrusore dove avviene la fusione.

Uno dei fattori più importanti da considerare nel progettare una sezione di transizione è che la sua pendenza deve il più possibile essere adeguata all’avanzamento della fusione al fine di ridurre l’usura di cilindro e vite e per massimizzare la portata.

Sezione di dosaggio (Meteringsection)

La “Meteringsection” o sezione di pompaggio è la parte finale della vite dove la fusione è completa. Il suo compito è pompare il fuso per superare le pressioni della testa di plastificazione.

Per applicazioni con pressioni di testa non elevate possiamo ritenere valida la regola:

$$Q = 2,3 D^2 h_m \rho n \quad (2.2)$$

Q=portata [Kg/h] ; D=diámetro vite [m]; h_m=profondità Meteringsection [m]; ρ=densità polimero [Kg/m³]; n= velocità angolare [RPM]

Azionamento vite

L'azionamento della vite è affidato ad un motore elettrico, solitamente accoppiato tramite riduttore alla vite di plastificazione. Il motore deve garantire la coppia richiesta dall'utilizzatore e ruotare alla velocità necessaria per ottenere la portata di fuso previsto.

Storicamente gli azionamenti usati consistono in motori a corrente continua e motori asincroni.

Motore asincroni

Per regolare la velocità di rotazione della vite per regolare la velocità di rotazione della vite azionata da motori asincroni utilizzano si utilizzano sistemi meccanici per variare il rapporto di trasmissione, o il controllo della frequenza della corrente di alimentazione a livello elettronico.

I motori asincroni presentano diversi vantaggi: costi modesti, semplicità, alta affidabilità, bassa manutenzione, e ingombri ridotti. Tuttavia i costi del drive elettronico sono superiori rispetto a quelli dei motori a corrente continua. Inoltre, posseggono una coppia di spunta abbastanza bassa da dover costringere in taluni casi a sovradimensionare la scelta del motore per tale motivo.

Controllo meccanico della velocità (sistema storico)

Ci sono due tipi fondamentali di regolazione meccanica della regolazione della velocità di trasmissione.

- *Cinghie*
- *Catene*

Questi sistemi sono ormai usati raramente a causa della loro eccessiva manutenzione, controllo limitato della velocità, limitato rapporto di trasmissione e scarso rendimento.

Controllo elettronico della velocità (sistema attuale)

In questo caso il motore è collegato a un inverter che varia la frequenza in ingresso della corrente variandone la velocità.

Motore a corrente continua

Il motore a corrente continua rimane una soluzione più economica e più semplice rispetto al motore al motore asincrono. Questo è dovuto principalmente ai costi relativi al driver elettronico che è molto più economico rispetto a driver necessario a un motore asincrono. I principali problemi derivano dalla manutenzione richiesta dalla presenza di commutatori e spazzole.

Attualmente l'utilizzo del sistema a corrente continua è riservato a grandi potenze (sopra 200 Kw) per i quali il costo di un sistema con un motore asincrono sarebbe troppo elevato.

Riduttori

Sia con motori a corrente alternata, sia con motori a corrente continua è generalmente richiesto un riduttore per adattare i giri relativamente elevati del motore alle velocità sensibilmente inferiori della vite. Il rapporto di riduzione si assesta solitamente tra i 15:1 e 20:1, ma può essere anche superiore. Il riduttore solitamente più usato è il riduttore ad assi paralleli; spesso in una configurazione a due stadi.

Alcuni riduttori sono equipaggiati con sistemi per il cambio veloce di velocità. Una caratteristica del genere può giovare anche di molto la flessibilità del riduttore.

Il rendimento di questo tipo di riduttore è piuttosto elevato aggirandosi attorno al 95%.

Riduttori a vite senza fine sono usati in rari casi; il loro costo è ridotto, ma presentano rendimenti sensibilmente inferiori.

Caratteristica di coppia costante

La maggior parte degli estrusori presenta una caratteristica di coppia costante. Questo significa che la coppia massima richiesta al motore rimane la stessa lungo il range di velocità.

La caratteristica Coppia-Velocità può essere utilizzata per determinare la caratteristica Potenza-Velocità.

$$P = \frac{\pi}{30} n C \quad (2.3)$$

P=Potenza [W] ;C=coppia [Nm] ; n=velocità angolare [RPM]

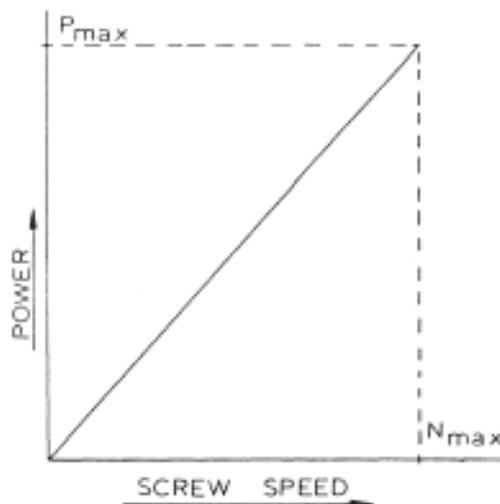


Fig.2.5 caratteristica estrusore

Cuscinetti reggispinta

Solitamente i cuscinetti reggispinta sono necessari dato che si sviluppa una elevata pressione all'interno dell'estrusore. Tale pressione è necessaria per alimentare la portata di fuso e garantire la pressione necessaria per attraversare la testa di plastificazione. Questo genera una spinta nella vite che si scarica sul cuscinetto reggispinta.

Il cuscinetto è montato sulla parte finale della vite tra la stessa e il motore o più generalmente la scatola del riduttore. Spesso il reggispinta è compreso nel riduttore.



Fig. 2.6 riduttore a due stadi

Soffiaggio

Il soffiaggio (“blowmoulding”) è un processo di trasformazione dei polimeri. Viene usato per la fabbricazione di manufatti cavi. Nel processo il parison, proveniente dalla filiera, viene introdotto all’interno di uno stampo adeguatamente formato (solitamente tramite elettroerosione) ed espanso per mezzo di aria compressa iniettata all’interno tramite un orifizio. La plastica si espande fino a toccare le pareti dello stampo prendendo la forma di quest’ultimo. Il contatto con le pareti, oltre ad indicare la fine del processo di soffiaggio, raffredda la plastica concorrendo al processo di solidificazione del prodotto.

Sebbene tale tecnologia sia usata in maniera predominante per la formazione di bottiglie, il suo utilizzo per la produzione di altri prodotti di forma cava è in aumento (serbatoi di carburante; spoiler automobili, giocattoli).

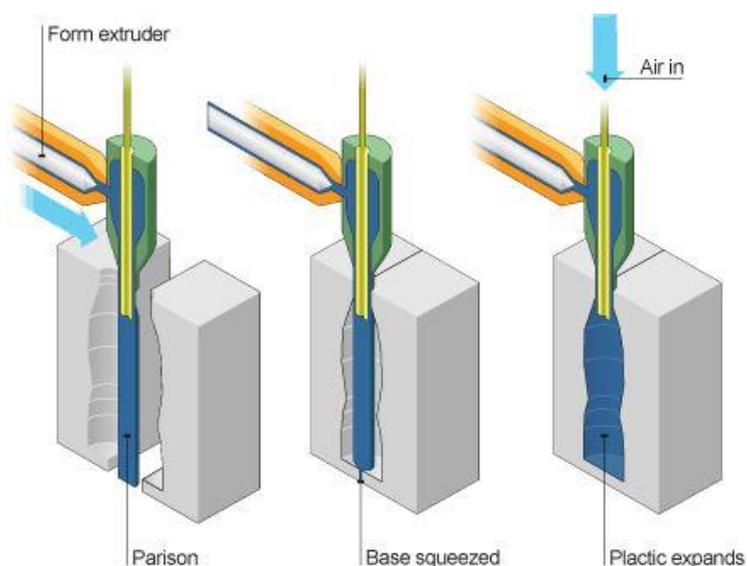


Fig. 2.7 schema fasi del soffiaggio

Basi del processo

Andando ad analizzare più nel particolare il processo di estrusione con soffiaggio, il parison prodotto dall’estrusore, sotto forma di cilindro, “cade” verso uno stampo aperto il quale si richiude permettendo allo stesso tempo all’ugello del compressore di inserirsi nel parison. A stampo chiuso l’aria comincia ad affluire ed ad espandere la plastica contro le pareti. Le pareti (generalmente raffreddate) imprime la forma desiderata al prodotto e, a raffreddamento avvenuto, si aprono ed il componente viene espulso.

I metodi per alimentare la zona di soffiaggio sono due. Il parison può arrivare dall’estrusore in maniera continua o con accumulo.

Durante l'estrusione continua, il parison viene formato da un estrusore la cui vite viene disegnata in modo da assicurare un flusso continuo di materiale. La geometria consente l'espulsione di una portata continua di fuso che fuoriesce alla stessa velocità della formazione del prodotto; questo processo viene utilizzato per la produzione di manufatti di piccolo-medio spessore. È possibile dotare la zona di estrusione di un movimento basculante atto a procurare una "finestra di tempo" alla movimentazione stampi e ugelli.

L'estrusione con accumulo, invece, consente di formare il parison più velocemente e viene dunque usato per oggetti di volume maggiore. Il sistema comunemente più usato è "a vite punzonante" che combina caratteristiche dell'estrusione polimerica con la tecnologia dell'iniezione. La vite dell'estrusore, oltre a ruotare, ha la possibilità di compiere moto longitudinale. La vite gira riempiendo il cilindro di materiale fuso e muovendosi verso il fondo dell'estrusore; quando il cilindro è pieno la vite spinge in avanti fungendo da pistone facendo fuoriuscire tutto il materiale accumulato. Questo tipo di processo è maggiormente usato per prodotti dal peso di alcuni chilogrammi per i quali non è conveniente l'estrusione continua per motivi di tempo di discesa del parison e perché il parison potrebbe collassare per via del suo stesso peso durante il processo provocando disomogeneità nello spessore.

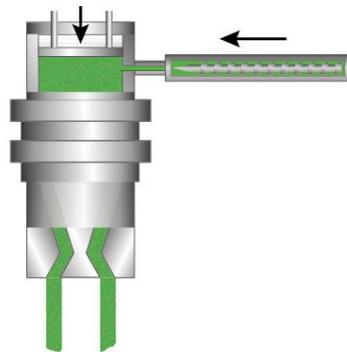


Fig. 2.8 estrusione discontinua

Motori elettrici

Macchine elettriche

Si può in generale definire una macchina elettrica qualsiasi dispositivo in grado di eseguire una conversione di energia in energia elettrica o una conversione da energia elettrica in altre forme di energia.

Queste saranno generatori se trasformano l'energia entrante nel sistema (meccanica, chimica, termica ecc..) in energia elettrica. Viceversa, se esse trasformeranno energia elettrica in meccanica saranno motori.

Ovviamente, a prescindere dal tipo di trasformazione, otterremo una potenza in uscita minore di quella assorbita dalla macchina; in caso di motori la potenza meccanica è inferiore a quella elettrica fornita dalla rete di alimentazione.

Perdite

- *Perdita di potenza meccanica: ventilazione e cuscinetti*
- *Per effetto Joule: negli avvolgimenti in rame*
- *“nel ferro” : per isteresi e correnti parassite*

Queste perdite termiche dovranno essere asportate per permettere il corretto funzionamento.

Dal punto di vista costruttivo tutte le macchine rotanti sono composte da due elementi, uno capace di ruotare (rotore) e l'altro invece vincolato (statore). Oppure, considerando gli aspetti elettromagnetici, parleremo di indotto e induttore.

Classificazione macchine

- *A corrente continua: sono molto utilizzati per via della loro altissima flessibilità di utilizzazione. La sostanziale differenza tra questa macchine e le macchine sincrone e asincrone è che in questo caso il campo magnetico è fisso anziché rotante.*
- *A corrente alternata*

- *Sincrone*: l'aggettivo sincro si riferisce al fatto che la velocità di rotazione del rotore è legata in maniera rigida alla frequenza della tensione alternata
- *Asincrone*: in questo caso la velocità di rotazione non è rigidamente legata alla frequenza della tensione di alimentazione della rete.

Motore a corrente continua

Il motore a corrente continua è il primo motore elettrico realizzato. Il suo funzionamento si basa, come quello di tutti i motori elettrici, sull'interazione tra campo elettrico e campo magnetico.

Esiste in due configurazioni:

- *Brushed*
- *Brushless*

Brushed

Il motore a corrente continua brushed (cioè con spazzole) presenta un rotore ed uno statore.

Lo statore è fisso nello spazio ed ha come funzione la creazione di un campo magnetico costante. La formazione di esso è ottenuta per mezzo di bobine di eccitazione o magneti permanenti.

Il rotore ha invece la possibilità di ruotare attorno al proprio asse ed è formato da un supporto attorno al quale sono opportunamente avvolte bobine, composte da un materiale conduttore (solitamente rame). Le bobine sono alimentate da corrente continua proveniente da una fonte di energia elettrica tramite spazzole e un collettore calettato sull'albero del rotore e collegato alle bobine.

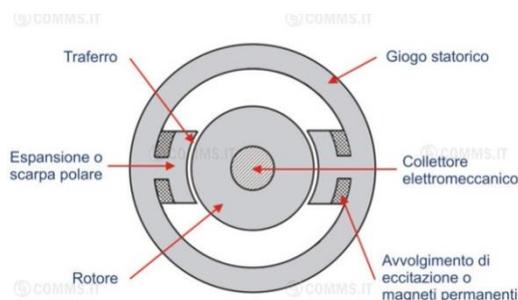


Fig. 2.9 Schema di un motore a corrente continua

Principio di funzionamento

I magneti permanenti o le bobine di eccitazione creano un campo magnetico con linee di campo che si direzionano uscenti dal polo nord ed entranti nel polo sud. All'interno di tale campo è posto il rotore e quindi i fili di materiale conduttore percorsi da corrente.

L'interazione tra il campo magnetico e il flusso di corrente crea una forza.

$$\vec{F} = Li\vec{B}(2.4)$$

Indichiamo con F la forza generata, B l'intensità del campo magnetico, i l'intensità della corrente che attraversa il filo e L la lunghezza del filo.

Si crea dunque sul rotore una coppia di forze per ogni avvolgimento di spira.

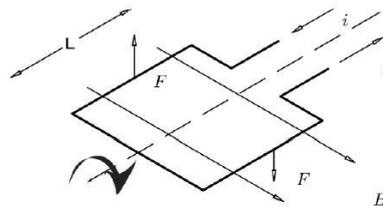


Fig. 2.10 Schema della creazione coppia motrice

Come si nota nella figura, compiuto un mezzo giro, il rotore si trova nella condizione di equilibrio con metà delle spire che si trovano nella parte superiore del rotore e generano una forza diretta verso l'altro e l'altra metà delle spire posta nella zona opposta del rotore che genera forze uguali ed opposte creando una coppia nulla.

Per ovviare questo occorre invertire il senso della corrente mantenendo la condizione di tensione costante in ingresso.

Il motore presenta quindi un collettore che ogni mezzo giro garantisce un'inversione del verso della corrente consentendo il mantenimento della coppia e garantendo il corretto funzionamento del motore.

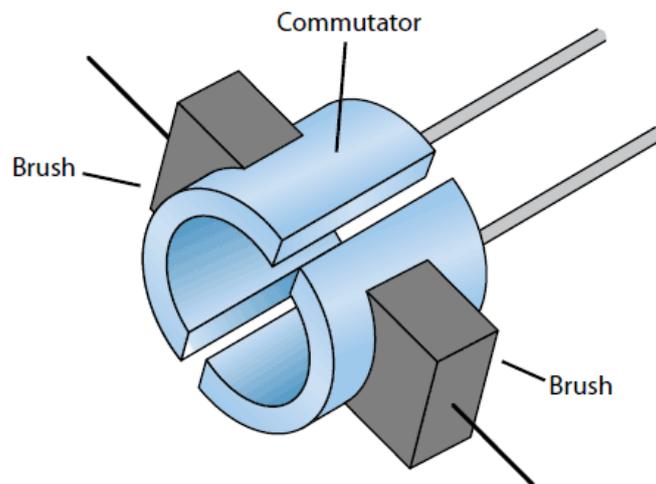


Fig. 2.11 spazzole e collettore

Pregi e difetti del motore

Il motore consente una facile regolazione della velocità ed una forte semplicità costruttiva. Presenta tuttavia notevoli perdite dovute principalmente alle spazzole che, inoltre, limitano la velocità del motore stesso.

Motori brushless

I motori brushless (senza spazzole) non richiedono spazzole e collettore per alimentare il motore e per invertire il verso della corrente eliminando i difetti che ne derivavano.

La struttura del motore è diversa rispetto al brushed. Lo statore si trova all'interno della geometria del motore e presenta avvolgimenti collegati alla rete di alimentazione. Il verso della corrente all'interno delle bobine è regolato da transistor che sostituiscono il compito del collettore presente nella macchina elettrica a corrente continua tradizionale.

Il rotore è, invece, esterno ed è formato da magneti permanenti; il principio di funzionamento e di generazione delle forze rimane lo stesso.

Pregi e difetti

Il principale difetto di questo motore consiste nei costi aggiuntivi della componentistica elettronica a cui è affidata l'inversione del verso della corrente. Il rendimento è sensibilmente superiore rispetto al motore a corrente continua brushed.

Motori a corrente alternata

I motori a corrente alternata sono alimentati da un segnale elettrico in ingresso sinusoidale. Il suo utilizzo è molto diffuso nell'industria a causa della sua semplicità costruttiva e al basso costo e alla sua capacità di lavorare in sovraccarico (anche 100% superiore alla potenza nominale) per brevi periodi di utilizzo.

La sua struttura presenta un rotore ed uno statore come nei motori a corrente continua, ma a differenza di quest'ultimi presentano un campo magnetico rotante invece che costante nello spazio dovuto alla caratteristica sinusoidale della corrente.

Principio dei campi rotanti

Per spiegare il principio che crea il campo rotante prendiamo in considerazione 3 bobine avvolte nello statore in modo da formare tra loro angoli di 120° e percorse da correnti trifase sfasate anch'esse di 120° l'una rispetto alle altre.

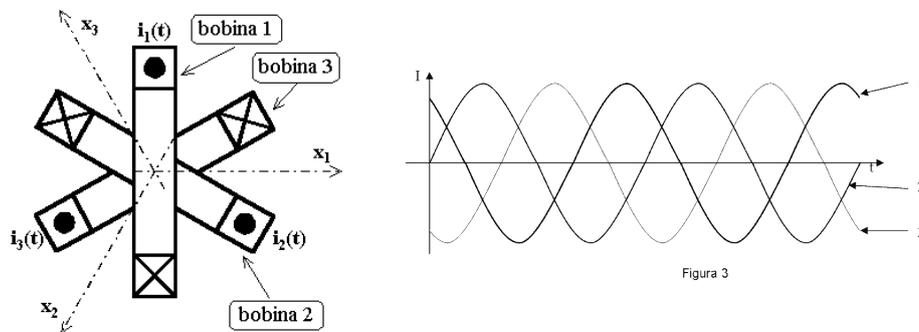


Fig. 2.12 schematizzazione avvolgimento statore e segnale trifase

Si ottengono tre campi magnetici generati dai tre avvolgimenti. L'intensità di tali campi è variabile nel tempo e la somma vettoriale dei tre campi generati risulta un unico campo magnetico che ruota con una velocità angolare funzione della frequenza della corrente e il numero di poli.

$$\omega_c = \frac{60 f}{p} \quad (2.5)$$

p=numero poli; f=frequenza [Hz]

Indichiamo con ω_c la velocità angolare del campo rotante, f la frequenza della corrente e p il numero di poli.

I motori a corrente alternata si classificano in asincroni e sincroni a seconda se la velocità angolare del rotore è legata rigidamente o meno a quella del campo rotante.

Motore asincrono

È il motore a corrente alternata di più largo impiego per la sua semplicità costruttiva e il suo costo ridotto.

L'aggettivo asincrono si riferisce alla differenza di velocità del campo rotante ω_c e la velocità angolare del rotore ω_R .

È composto da uno statore attorno al quale sono opportunamente avvolte bobine percorse da corrente polifase volte a creare il campo magnetico rotante.

Il rotore è invece composto da avvolgimenti in rame aventi le estremità poste in cortocircuito o un rotore a gabbia di scoiattolo.

La rotazione del campo magnetico genera una corrente indotta. La presenza di un campo magnetico ed una corrente genera una forza in maniera analoga al fenomeno che si viene a generare nei motori a corrente continua.

Affinché questo fenomeno generi forza e quindi coppia motrice è necessario che $\omega_R < \omega_c$.

Definiamo:

$$\omega_c = \text{velocità angolare campo magnetico}$$

$$\omega_R = \text{velocità angolare rotore}$$

$$\omega_s = \omega_c - \omega_R = \text{velocità di sincronismo}$$

Se $\omega_s = 0$ la coppia generata risulta essere nulla.

Pregi e difetti motore asincrono

Il motore asincrono presenta elevati rendimenti, costi ridotti e semplicità costruttivi.

Presenta alcuni svantaggi, la corrente di spunto risulta essere superiore, anche di 10 volte, la corrente nominale con relativi problemi alla rete di alimentazione.

Per applicazione ove non è necessaria una particolare regolazione di velocità e coppia il motore asincrono risulta adeguato.



Fig. 2.13 motore asincrono trifase

Motore sincrono

In questi motori la velocità di rotazione del rotore ω_R è rigidamente legata alla velocità di rotazione del campo magnetico ω_C . Ne segue che se la frequenza della corrente d'alimentazione f è costante anche $\omega_R = cost$.

La struttura del motore sincrono si differenzia dalla struttura di quello asincrono per via del rotore il quale può essere costituito da bobine eccitate da corrente continua tramite l'utilizzo di spazzole o da magneti permanenti.

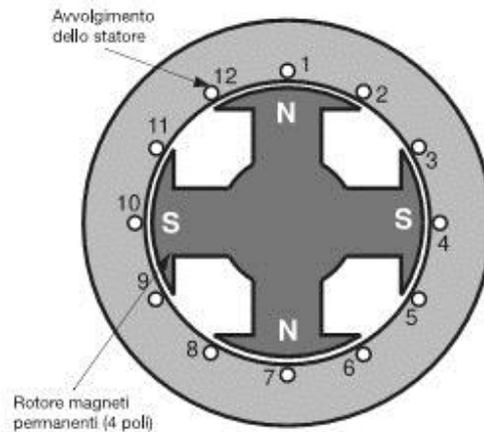


Fig. 2.14 schema di un motore sincrono

Pregi e difetti

L'avviamento di un motore sincrono è problematico in quanto l'inerzia del rotore non consente un avvio immediato della rotazione e quindi non riesce a legarsi alla rotazione del campo magnetico.

È necessario quindi sfruttare, all'avviamento, un motore a corrente alternata asincrono per arrivare alla ω_R di regime. È un motore generalmente sfruttato per grandi potenze e quindi nell'industria.

Confronto motori elettrici

Motori a corrente continua

Vantaggi

- *Circuiti di controllo e potenza semplici*

Svantaggi

- *Ingombro e peso elevati*
- *Continua manutenzione spazzole e collettore*
- *Velocità di rotazione limitata (usura del collettore)*
- *Non possono essere usati in ambienti deflagranti*
- *Tensione di utilizzo limitata (problemi di isolamento del collettore)*

Motori sincroni a magneti permanenti

Vantaggi

- *Elevato rapporto peso potenza*
- *Bassa inerzia*
- *Elevata affidabilità (assenza di spazzole)*
- *Elevata capacità di sovraccarico*
- *Elevata velocità massima*
- *Calore generato solo sullo statore*
- *Idoneo per funzionare in ambiente ostile*

Svantaggi

- *Hardware e controllo complesso*
- *Costo elevato*
- *Problema alle alte temperature*

Motore asincrono trifase a gabbia di scoiattolo

Vantaggi

- *Basso costo*
- *Elevata affidabilità (mancanza di spazzole)*
- *Elevata capacità di sovraccarico*

- *Nessun problema alle alte temperature*
- *Idoneo per funzionare in ambiente ostile (degradando la coppia)*

Svantaggi

- *Controllo di elevata complessità*
- *Genera calore sul rotore*
- *Inerzia elevata*

3 Direct drive e motori coppia

Introduzione

La tecnologia del “direct drive” (azionamento diretto) è emersa come risposta ideale alla necessità di soddisfare il bisogno di aumentare la produttività, dinamicità ed accuratezza di alcuni strumenti industriali.

Per “direct drive” si intendono tutte quelle applicazioni dove il collegamento tra organo movente ed utilizzatore è diretto si eliminano elementi quali catene, cinghie, riduttori, ruote dentate. Quindi rientrano in questa categoria sia estrusori azionati da motori torque, sia lavatrici che hanno il motore direttamente legato al cestello, senza utilizzare il tradizionale sistema di trasmissione a cinghia.

Attualmente circa il 65% del consumo mondiale di energia è dovuto a motori elettrici. Con l’aumento dell’attenzione verso tematiche ambientali e di risparmio energetico è richiesta la realizzazione di azionamenti elettrici a più alto rendimento. Questo ha portato ad un incremento dell’uso di motori sincroni a magneti permanenti per rimpiazzare i tradizionali motori asincroni trifase. I motori sincroni a magneti permanenti non hanno avvolgimenti sul rotore il che si traduce con minori perdite e rendimenti quindi maggiori.

Per applicazioni a basso numero di giri (sotto 500 RPM) motori a magneti permanenti possono eliminare la necessità di sistemi di trasmissione portando ad un ulteriore miglioramento del rendimento dell’azionamento. È vantaggioso eliminare collegamenti intermedi tra motore ed utilizzatore poiché essi sono:

- *Costosi*
- *Diminuiscono l’efficienza dell’azionamento*
- *Richiedono manutenzione*
- *Minor numero di componenti nella catena cinematica*

Azionamenti, a velocità sia elevate che ridotte, i quali consistono in un collegamento diretto motore-utilizzatore sono appunto detti “direct drive”, dato che la macchina è accoppiata direttamente al carico.

Vantaggi direct drive per basse velocità

Molte applicazioni richiedono una velocità angolare ridotta ed una coppia elevata. Solitamente motori convenzionali (asincroni trifase) hanno velocità elevate (da 1000 RPM a 3000 RPM) e sono connessi a riduttori per ottenere le velocità e le coppie richieste all'utilizzatore.

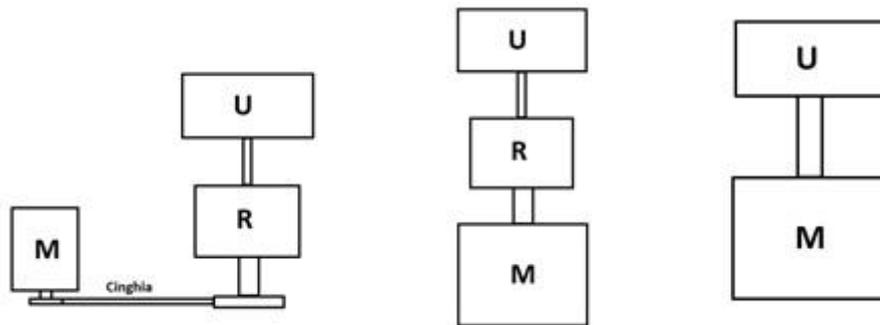


Fig. 3.1 esempi di trasmissione

I motori sincroni a magneti permanenti si sono rivelati adatti al collegamento diretto a utilizzatori che richiedono velocità ridotte e coppie elevate. Possono infatti erogare entrambe tali caratteristiche dando la possibilità di eliminare il riduttore dalla catena dell'azionamento; garantendo molteplici vantaggi.

- *Manutenzione ridotta: Un riduttore comporta necessariamente manutenzione, periodica lubrificazione.*
- *Affidabilità più elevata: senza riduttore, principale sorgente di guasti, la catena cinematica si riduce e si allunga la vita dell'azionamento.*
- *Rumorosità ridotta: riduttori, trasmissione a cinghia, ingranaggi e pulegge sono fonti di rumore. Con l'eliminazione di parte di tali componenti l'azionamento risulta essere molto meno rumoroso.*
- *Elevata efficienza: L'eliminazione del riduttore comporta l'annullamento delle perdite che tale meccanismo produce (perdite dovute alla frizione tra le ruote).*
- *Peso ridotto: L'eliminazione del riduttore può comportare il calo del peso complessivo dell'azionamento (può non essere sempre così)*

Direct drive torque motors hanno, in particolare, dimostrato di aumentare in maniera significativa l'efficienza e le prestazioni delle macchine. Oltre ad aumentare più alte prestazioni in termini di dinamicità, i motori coppia riducono i costi energetici, semplificano la geometria della macchina, riducono usura e manutenzione.



Fig. 3.7 estrusore con motore coppia

Esempi direct drive

1.TURBINE EOLICHE

Negli ultimi anni è largamente aumentato il numero delle installazioni di turbine eoliche. La maggior parte consistono in riduttore accoppiato ad un generatore rotante ad alte velocità. Per questa applicazione il vantaggio più consistente, nell'applicazione del "direct drive", è la riduzione di guasti e manutenzione.

Studiando le statistiche relative ai guasti e ai fermi degli impianti eolici si rileva, come causa principale, la rottura dei riduttori.

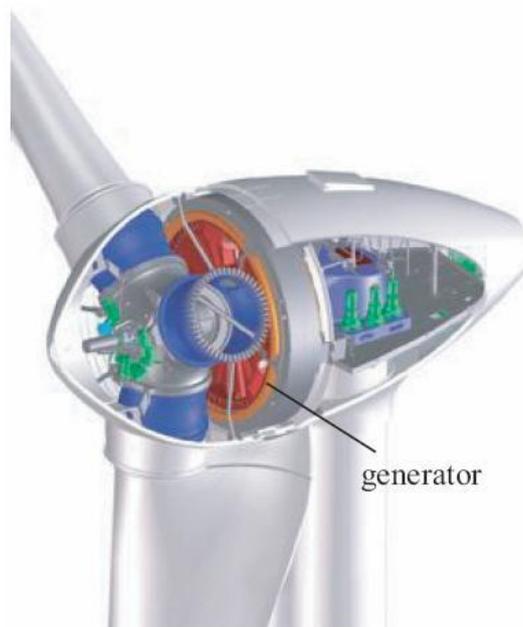


Fig. 3.2 Generatore eolico

2.PROPULSORI NAVALI

La maggior parte delle imbarcazioni da crociera hanno una propulsione elettrica. Insieme agli altri vantaggi (e.g. rendimenti superiori) il motore elettrico garantisce basse rumorosità e quindi un confort superiore per i passeggeri rispetto ai tradizionali motori diesel o turbogas.

I motori sincroni a magneti permanenti tendono a rimpiazzare i tradizionali motori elettrici in questo campo per via del loro peso minore e perché offrono una maggiore manovrabilità. Il motore può essere montato su un supporto ruotabile e direttamente collegato all'elica consentendo un riposizionamento di quest'ultimo, e quindi della nave, in maniera facile ed agevole.

Le imbarcazioni di misura maggiore arrivano a necessitare di motori di oltre 10 megawatt con velocità dell'elica inferiore ai 200 RPM.

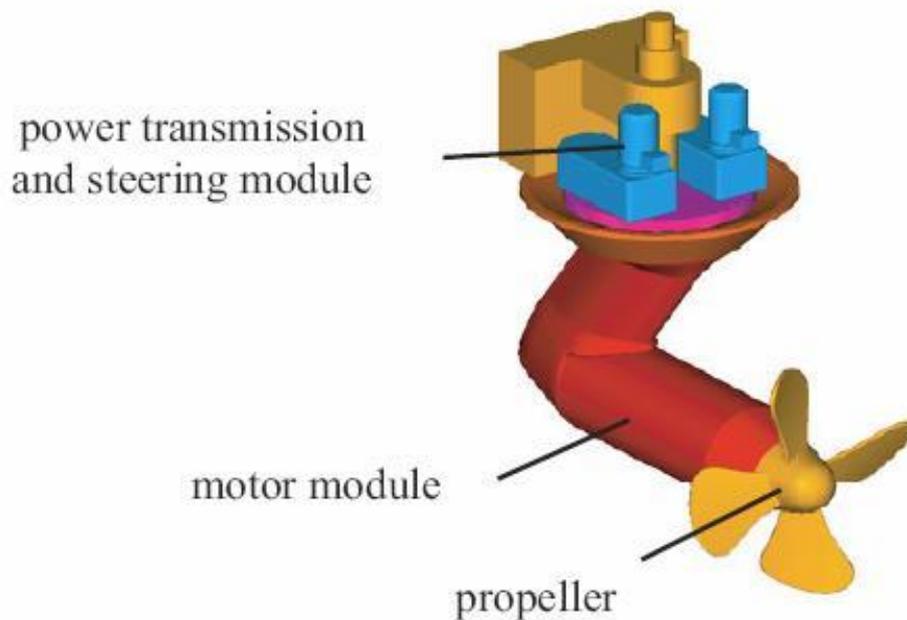


Fig. 3.3 propulsione navale

3. ASCENSORI

Esistono diverse soluzioni per il sollevamento degli ascensori. Quali adottare dipende dalla grandezza dell'edificio e dalla sua architettura. Tradizionalmente sono utilizzati motori asincroni accoppiati con sistemi idraulici e ingranaggi. Una soluzione alternativa è l'utilizzo del direct drive con motori DC o asincroni.

Recentemente è aumentato l'utilizzo di motori sincroni a magneti permanenti per tale scopo. In aggiunta ai vantaggi tipici di questo tipo di motore come bassa rumorosità, assenza di olio e più elevato rendimento, l'ascensore non necessita di una stanza apposita per l'azionamento con un conseguente risparmio di spazio.

Occorre precisare che in questo caso non possiamo parlare propriamente di direct drive a causa della presenza dei cavi.

Un tipico ascensore adibito al trasporto passeggeri per edifici di media grandezza trasporta carichi variabili tra 500 Kg e 1500 Kg ad una velocità approssimativa di 1 m/s. I motori richiesti per tale applicazione debbono erogare una potenza compresa tra i 5 kW e 20 kW ed una velocità inferiore ai 300 RPM. Ascensori di taglia superiore possono arrivare a potenze di 500 kW.



Fig. 3.4 motore per ascensore

4.LAVATRICI

In una lavatrice convenzionale un motore a corrente continua o un motore ad induzione azionano il cestello della lavatrice tramite cinghie e pulegge. Il vantaggio derivante dall'utilizzo del "direct drive" è l'eliminazione di cinghia, pulegge, eventuali spazzole del motore a corrente continua. Infatti, tali elementi rappresentano i componenti più fragili della lavatrice e sono la fonte principale di guasti.

Un altro vantaggio molto importante è la sensibile riduzione della rumorosità.

Un motore per lavatrici eroga una potenza solitamente inferiore ad un kW ed ha un range di velocità che varia da 50 RPM richiesti durante il ciclo di lavaggio e 1500 RPM per il ciclo di centrifuga.

Quindi il motore "direct drive" deve garantire tale spettro di velocità e tale risultato può essere raggiunto operando un indebolimento del campo magnetico.

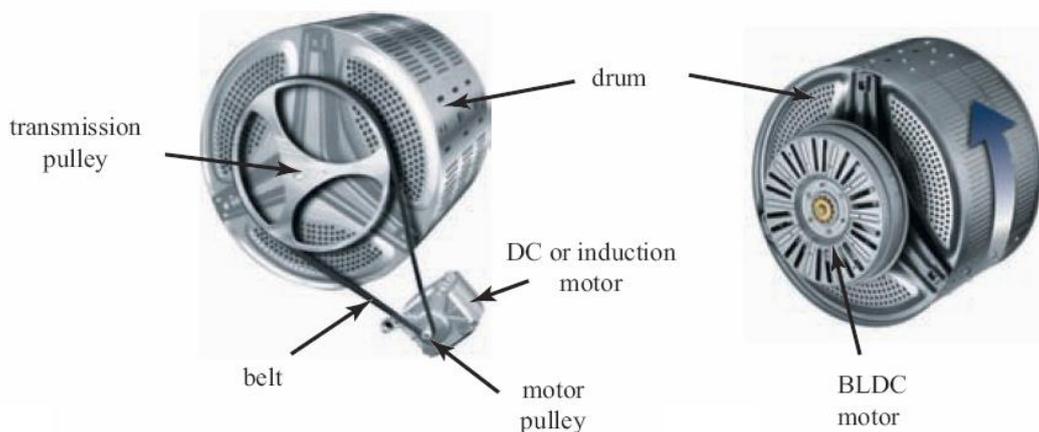


Fig. 3.5 confronto trasmissione convenzionale e "direct drive" su una lavatrice

5. INDUSTRIA CARTACEA

Azionamenti che richiedono basse velocità sono altamente utilizzati nell'industria della carta. Un utilizzo di direct drives comporterebbe, oltre agli altri vantaggi, un sensibile diminuzione degli ingombri ed una più semplice installazione.

6.IMPIANTI DI DEPURAZIONE DELL'ACQUA

Durante il processo di depurazione dell'acqua vengono usati dei miscelatori all'interno di grandi vasche per mantenere il fluido in movimento. L'utilizzo di miscelatori azionati direttamente dai motori consente di ottenere un'efficienza maggiore oltre ad un controllo più elevato della velocità garantendo una miglior flessibilità.

Miscelatori a bassa velocità hanno potenze di pochi kW. L'elica solitamente gira a velocità di 50 RPM.



Fig. 3.6 vasca di depurazione con miscelatori in vista

Uso dei magneti permanenti nella costruzione di macchine elettriche

L'uso di magneti permanenti nella costruzione di macchine elettriche comporta i seguenti benefici:

- *Nessuna energia elettrica è assorbita per la creazione del campo magnetico; con conseguente incremento del rendimento*
- *Raggiungimento di densità di potenza e coppia più elevate rispetto all'eccitazione elettromagnetica*
- *Miglior risposta dinamica del sistema*
- *Costruzione più semplice della macchina*
- *Manutenzione ridotta*



Fig. 3.8 Magneti permanenti

Il primo sistema ad eccitazione magnetica fu costruito nel XIX secolo. Il materiale usato per la costruzione dei magneti permanenti era di scarsa qualità (acciaio e tungsteno) e scoraggiò lo sviluppo in questa direzione privilegiando motori con eccitazione elettromagnetica.

Attualmente, grazie all'uso di magneti più performanti, molti motori a corrente continua montano magneti permanenti sullo statore.

I motori più usati del ventesimo secolo sono, però, i motori asincroni trifase. In epoca recente, grazie allo sviluppo raggiunto nel campo dell'elettronica di potenza e la

tecnologia di controllo, è aumentato l'utilizzo di motori asincroni trifase con potenze che possono variare da pochi watt a 500 chilowatt.

I principali vantaggi che hanno contribuito al successo dei motori asincroni sono:

- *Costruzione semplice*
- *Costi contenuti*
- *Elevata affidabilità*

I rendimenti sono inferiori rispetto ai motori sincroni.

L'uso di motori a magneti permanenti brushless è diventato un'alternativa allettante per l'industria rispetto ai motori asincroni trifase.

Magnet permanenti ottenuti da terre rare (leghe di Samario-Cobalto; Neodimio-Ferro-Borio) migliorano la densità di potenza (rapporto Potenza - massa motore) e le prestazioni dinamiche.

I miglioramenti nel campo dei driver elettronici hanno significato un miglioramento, in termini di costi e semplicità, del controllo dei motori brushless.

Un motore brushless a magneti permanenti ha i magneti situati sul rotore e le bobine dell'armatura sullo statore. Quindi non sono richieste spazzole e commutatori che sono i componenti che richiedono la maggior manutenzione. In un motore a corrente continua a commutazione, inoltre, la maggior parte delle perdite (circa 90%) risiede nel rotore con conseguenti problemi legati alla formazione di energia termica. Nei motori brushless a magneti permanenti le perdite sono praticamente situate esclusivamente nello statore, dove il calore può essere facilmente eliminato con sistemi di raffreddamento ad aria o, nelle macchine più grosse, ad acqua.

Gli azionamenti elettromeccanici che usano magneti permanenti sono di tre tipi:

- *Motori a corrente continua*
- *Motori brushless (sincroni AC e DC)*
- *Motori passo-passo*

Quest'ultimi non sono utilizzati per l'azionamento di estrusori.

Motori coppia

McGraw-Hill: Dictionary of Scientific and Technical Terms

Torque motor: A motor designed primarily to exert torque while stalled or rotating slowly.

I motori coppia sono una speciale classe di servomotori a magneti permanenti brushless. In generale ci si riferisce a questo tipo di motori come motori sincroni a magneti permanenti o brushless DC.



Fig. 3.9 motori coppia

La differenza fondamentale tra questi due motori è il tipo di segnale in ingresso. Per entrambi il segnale in ingresso è in corrente alternata. I motori sincroni a magneti permanenti sono alimentati da una corrente alternata trifase e funzionano secondo il principio del campo rotante. Anche i motori brushless DC sono alimentati da corrente alternata; la loro forma non è sinusoidale, bensì trapezoidale.

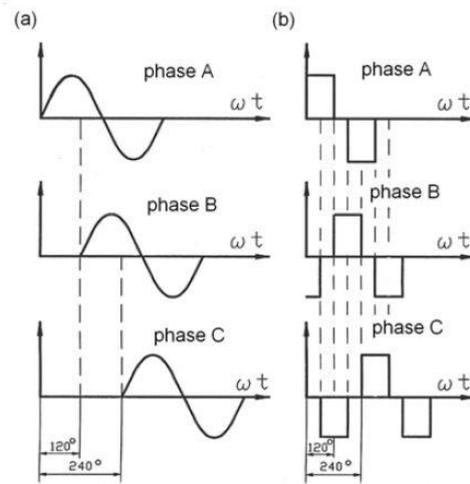


Fig. 3.10 onda sinusoidale e trapezoidale

Questa particolare forma (trapezoidale o quadrata) è ottenuta sincronizzando la corrente dell'armatura con la posizione del rotore. Il sistema più usato per ottenere tale informazione è utilizzare un sensore di posizione (encoder) montato sull'albero motore. Solamente due avvolgimenti su tre conducono corrente contemporaneamente. Lo schema di controllo che regola tale funzione è detto commutazione elettronica e svolge il lavoro equivalente a quello dei commutatori e delle spazzole dei più comuni motori a corrente continua. Per tale motivo i motori sincroni a magneti permanenti sono chiamati anche brushless DC. Un nome alternativo usato è motori a sincronizzazione autocontrollata.

Entrambi sono caratterizzati da:

- *Alta risposta dinamica*
- *Traferro di misura elevata (0,5 mm – 1,5 mm) → facilità di montaggio*
- *Alto rendimento dovuto ai magneti permanenti e alla mancanza di spazzole e connettori*
- *Coppia costante al variare della velocità*
- *Bassa rumorosità*

La caratteristica più peculiare di un motore coppia concerne le dimensioni fisiche. Il diametro è relativamente largo rispetto allo sviluppo assiale. Sia il diametro esterno che quello interno sono significativamente grandi. Due importanti conseguenze di tale caratteristica sono una massa abbastanza bassa rispetto alla dimensione diametrale e consente uno sviluppo di coppie elevate.

Il suo rendimento, che può giungere al 94% in condizioni ottimali, sommato all'assenza di organi di trasmissione, rende il motore torque l'azionamento ideale per applicazioni che richiedono un'elevata coppia e velocità angolari contenute.

Difetti

I principali difetti risiedono nei costi del motore, dovuti principalmente al materiale necessario per produrre i magneti permanenti.

Il materiale usato sono le terre rare, ma loro nomenclatura non deve in ogni caso trarre in inganno, in quanto consiste in minerali presenti in grandi quantità in natura. Il problema consiste nel loro grado di concentrazione, che deve essere sufficientemente alto per giustificare i costi di estrazione.

Inoltre, il rendimento raggiungibile dal motore coppia è molto alto (94% in condizioni ottimali), ma decade velocemente al variare delle condizioni di funzionamento.

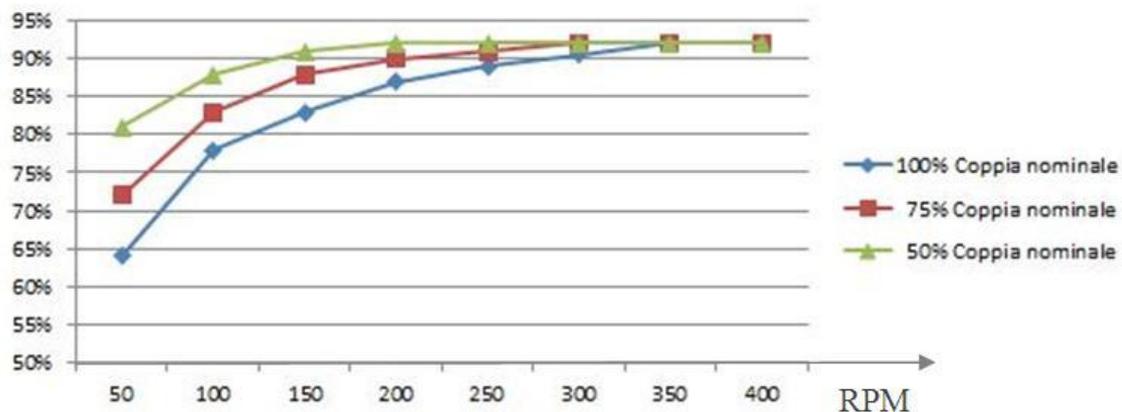


Fig. 3.11 andamento qualitativo del rendimento di un motore coppia

Notiamo dal grafico un calo notevole del rendimento al calare della velocità al di fuori dei parametri operativi ottimali.

Ciò si traduce con una grande dinamicità del motore, ma non altrettanto del suo rendimento.

I magneti permanenti ottenuti dalle terre rare hanno con successo sostituito magneti di ferrite e Alnico in tutte le applicazioni dove è richiesta alta densità di potenza e coppia, alte prestazioni dinamiche e alto rendimento.

4 valutazione soluzione attuale

Soluzione attualmente adottata dall'azienda

Introduzione

Al momento l'azienda monta nella parte della macchina addetta alla produzione del parison gruppi di estrusione composti da un motore elettrico, un riduttore ed estrusore.

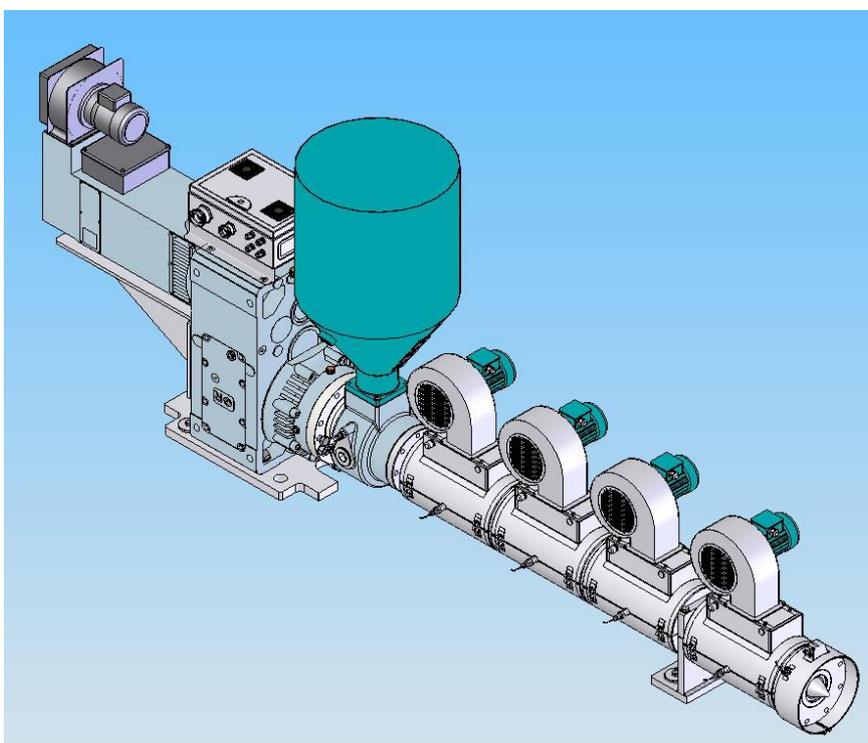


Fig. 4.1 estrusore 80/25

A seconda della tipologia di macchina e delle esigenze del cliente più estrusori possono essere montati sulla stessa macchina. In alcuni casi il prodotto finale (la bottiglia) può essere formato da più strati di plastica diversi e quindi occorre montare un estrusore per ogni strato. Questo è importante poiché il numero degli estrusori chiaramente influisce sull'ingombro della macchina ed in particolare sul peso che si scarica sulla tavola basculante.

La tavola basculante è un meccanismo tale per cui l'intero gruppo di estrusori, durante il ciclo di produzione, è sottoposto ad un movimento di beccheggio. Tale movimento serve per consentire la movimentazione degli stampi sotto la testa di plastificazione.

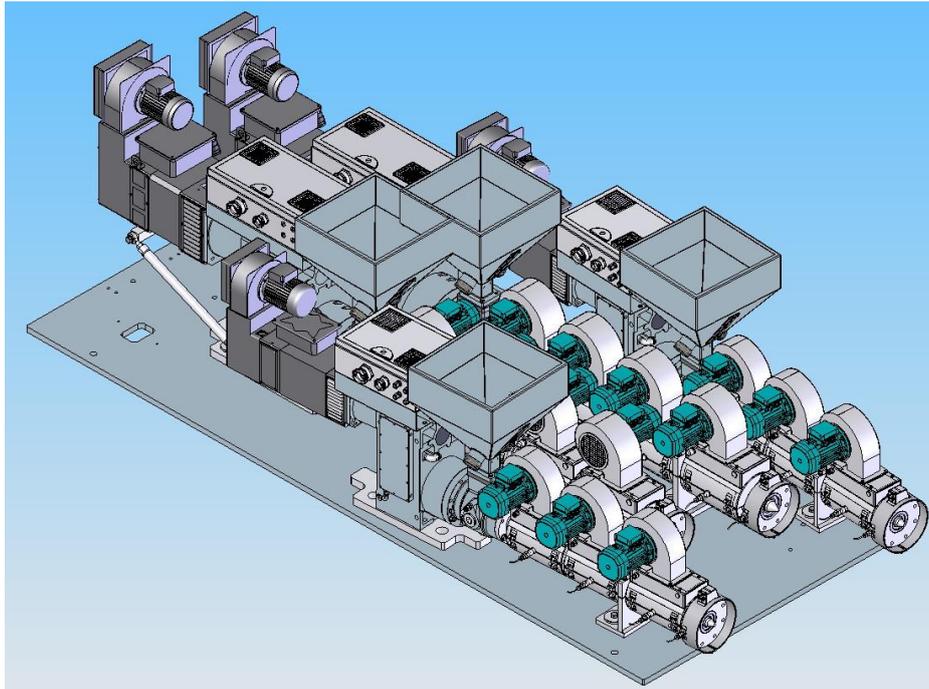


Fig. 4.2 Lavagna con 4 estrusori

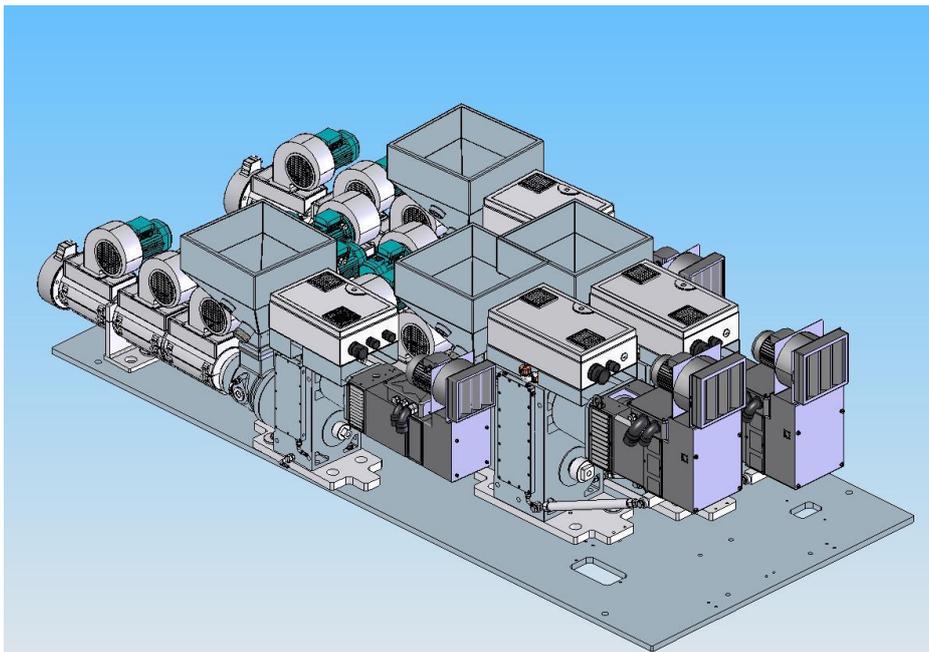


Fig. 4.3 vista posteriore della lavagna

Le taglie di estrusori che, correntemente, è possibile montare sono 11 e variano per dimensione e capacità di portata di fuso.

Estrusore	Portata massima [Kg/h]	Velocità massima [RPM]
120/25	410	76
100/25	280	84
90/25	160	88
80/25	127	94
70/25	93	100
60/25	62	108
50/25	42	120
45/25	30	122
30/25	13	136
25/25	10	146
20/25	7	162

Tab. 4.1 Portate e velocità massime degli estrusori

Notiamo che in funzione alla taglia e alla dimensione occorre garantire una precisa velocità alla vite per ottenere la portata desiderata. I valori della tabella si riferiscono alla portata massima che l'estrusore deve essere in grado di erogare.

Nella realtà della lavorazione gli estrusori lavoreranno al 70% della loro portata massima.

Estrusore	Portata di funzionamento [Kg/h]	Velocità di funzionamento [RPM]
120/25	287	53
100/25	196	59
90/25	112	62
80/25	89	66
70/25	65	70
60/25	43	75,6
50/25	29	84
45/25	21	85,4
30/25	9	95
25/25	7	102
20/25	5	113

Tab. 4.2 Portate e velocità nominali di funzionamento degli estrusori

Consumo elettrico

Per calcolare il consumo energetico ho usato il valore ricavato sperimentalmente di 0,24 kW/Kgh. Il valore corrisponde all'energia assorbita dalla rete elettrica in funzione della portata di fuso. Questo valore può variare in funzione di variabili di processo come la tipologia di polimero processata o la velocità della vite, ma al fine di una valutazione complessiva e considerando che i valori sperimentali erano compresi tra 0,22 Kw/Kgh e 0,26 kW/Kgh consideriamo questo dato costante.

Estrusore	Potenza assorbita [Kw]
120/25	68,88
100/25	47,04
90/25	38,4
80/25	30,48
70/25	22,32
60/25	14,88
50/25	10,08
45/25	7,2
30/25	3,12
25/25	2,4
20/25	1,68

Tab. 4.3 potenza assorbita dal sistema alla portata nominale

Il consumo energetico annuo viene calcolato considerando:

- 3 turni giornalieri di 8 ore ciascuno
- 6 giorni alla settimana di lavoro
- 50 settimane di lavoro all'anno

$$\text{Totale ore} = 3 \times 8 \times 6 \times 50 = 7200 \text{ ore (4.1)}$$

Estrusore	Consumo annuo energia [Kwh/anno]
120/25	495936
100/25	338688
90/25	276480
80/25	219456
70/25	160704
60/25	107136
50/25	72576
45/25	51840
30/25	22464
25/25	17280
20/25	12096

Tab. 4.4 consumo annuo di energia elettrica

Per valutare il costo dell'energia elettrica consideriamo 3 valori di riferimento per 3 paesi europei (Italia, Germania, Francia) rispettivamente 0.14 €/Kw, 0.8 €/Kw e 0.10 €/Kw.

estrusore	Costo energia elettrica annuo ITA	Costo energia elettrica annuo GER	Costo energia elettrica annuo FRA
120/25	€ 69431	€ 39674	€ 49593
100/25	€ 47416	€ 27095	€ 33868
90/25	€ 38707	€ 22118	€ 27648
80/25	€ 30723	€ 17556	€ 21945
70/25	€ 22498	€ 12 856	€ 16070
60/25	€ 14999	€ 8570	€ 10713
50/25	€ 10160	€ 5806	€ 7257
45/25	€ 7257	€ 4147	€ 5184
30/25	€ 3144	€ 1797	€ 2246
25/25	€ 2419	€ 1382	€ 1728
20/25	€ 1693	€ 967	€ 1209

Tab. 4.5 costo energia elettrica annuo

Costo installazione

Riporto nella tabella seguente il costo del motore e del riduttore per ogni taglia di estrusori.

estrusore	Motore	Riduttore	totale
120/25	€ 4.011,84	€ 12.754,40	€ 16.766,24
100/25	€ 3.006,91	€ 9.389,60	€ 12.396,51
90/25	€ 2.758,74	€ 7.245,25	€ 10.003,99
80/25	€ 1.940,16	€ 5.340,00	€ 7.280,16
70/25	€ 1.730,40	€ 4.330,00	€ 6.060,40
60/25	€ 1.539,07	€ 3.390,00	€ 4.929,07
50/25	€ 1.465,34	€ 2.763,16	€ 4.228,50
45/25	€ 1.236,48	€ 2.260,00	€ 3.496,48
30/25	€ 826,56	€ 1.630,00	€ 2.456,56
25/25	nd	nd	nd
20/25	€ 1.165,54	nd	nd

Tab. 4.6 costi motore e riduttore

A tali costi occorre aggiungere i costi relativi ai driver elettronici necessari per la corretta regolazione del motore.

estrusore	Driver
120/25	€ 6192
100/25	€ 5057
90/25	€ 4128
80/25	€ 3100
70/25	€ 3069
60/25	€ 2112
50/25	€ 2112
45/25	€ 1752
30/25	€ 1238
25/25	nd
20/25	€ 831

Tab. 4.7 costo driver

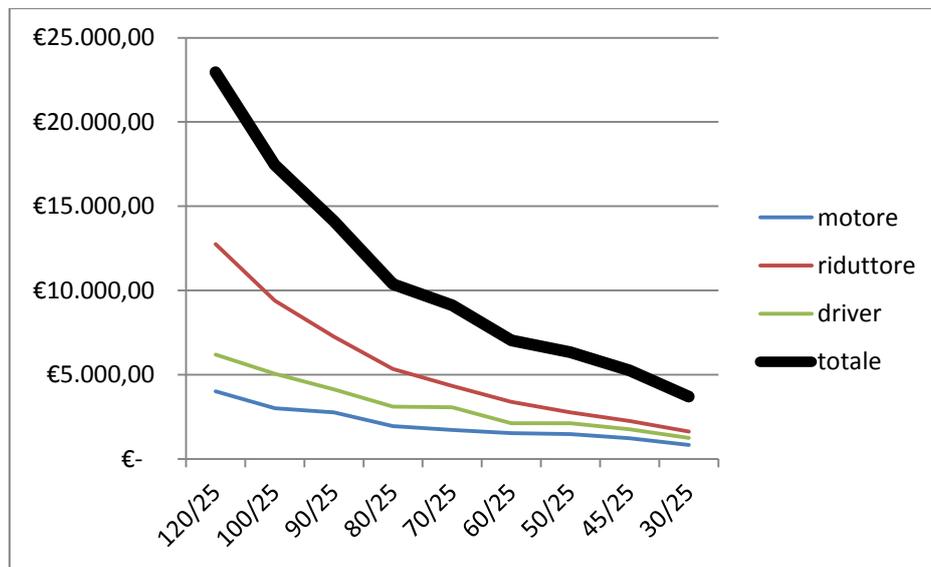


Fig. 4.4 grafico costo azionamento

Possiamo notare dal grafico che il costo dell'azionamento nel suo complesso è legato alla taglia dell'estrusore. L'andamento è, però, non lineare. Sono stati esclusi dal grafico le taglie di estrusori per i quali non erano disponibili alcuni, o tutti, i dati relativi ai costi.

estrusore	totale
120/25	€ 22.958,24
100/25	€ 17.453,51
90/25	€ 14.131,99
80/25	€ 10.380,16
70/25	€ 9.129,40
60/25	€ 7.041,07
50/25	€ 6.340,50
45/25	€ 5.248,48
30/25	€ 3.694,56
25/25	n.d.
20/25	n.d.

Tab. 4.8 costo azionamento

Calcolo coppia richiesta all'utilizzatore

Per ricavare la coppia richiesta alla vite dell'estrusore è da tenere in considerazione il tipo di motore ed il tipo di riduttore utilizzati nell'azionamento.

Motori

I motori usati sono forniti dalla azienda SICME; serie BQ-AQ.



Fig. 4.5 motori asincroni trifase SICME; serie BQ-AQ

In seguito riporto i modelli di motore utilizzati e le loro principali caratteristiche.

estrusore	Motore	Pn [Kw]	Cn [Nm]	η_{nom}	Nn [RPM]
120/25	BQAr 180M	120	764	93%	1500
100/25	BQAr 160P	81	516	95,2%	1500
90/25	BQAr 160L	73	465	95%	1500
80/25	BQAr 132X	55,2	293	93,2%	1800
70/25	BQAr 132L	44,6	194	93%	2200
60/25	BQAR132SB35	34,8	151	93,7%	2200
50/25	BQAR132SB35	30	159	93	1800
45/25	BQAR100PB35	18	96	90,1%	1800
30/25	BQCP080XB35	7,7	33,3	88,1%	2200
25/25	AQCa 100S	4,8	25,5	84,9%	1800
20/25	AQCa 100S	4,8	25,5	84,9%	1800

Tab. 4.9 caratteristiche meccaniche motori asincroni trifase

Conoscendo la potenza elettrica assorbita e il rendimento del motore si ricava la potenza meccanica e la coppia erogata dal motore alla condizione nominale di funzionamento dell'estrusore. Si considera inoltre anche il rendimento del drive elettronico accoppiato al motore (99%).

$$P_{motore} = \frac{P_{assorbita}}{\eta_{motore} \times \eta_{drive}} \quad (4.2)$$

$$C_{motore} = \frac{P_{motore}}{RPM_{motore}} \times \frac{30}{\pi} \quad (4.3)$$

Ho considerato il rendimento del motore nella condizione di funzionamento analizzata coincidente con il rendimento nominale, anche se in realtà esso sarà minore. Questo mi porterà a considerare una coppia richiesta all'utente superiore a quella reale.

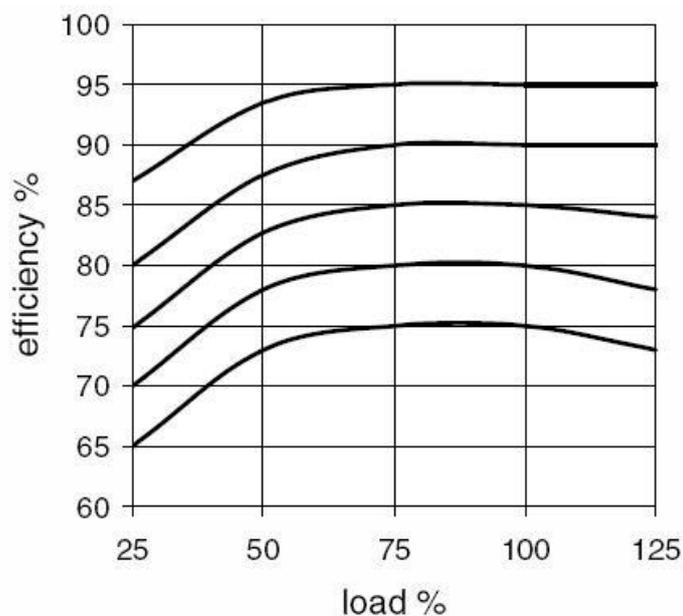


Fig. 4.6 Variazione rendimento dei motori asincroni

estrusore	Coppia meccanica erogata [Nm]
120/25	443,4
100/25	308,5
90/25	245,2
80/25	168,3
70/25	103
60/25	66,6
50/25	54,6
45/25	36,8
30/25	12,7
25/25	11,1
20/25	7,1

Tab. 4.10 Coppia erogata dal motore

Riduttori

Per ottenere i giri e la coppia richiesta dall'estrusore sono utilizzati riduttori ZAMBELLO. Vengono utilizzati riduttori ad assi paralleli a due stadi.



Fig. 4.7 riduttore ZAMBELLO

estrusore	riduttore	Rapporto di riduzione
120/25	ZPE2-280-B-B6-25	25,67
100/25	ZPE2-250-B-B6-22.5	23,33
90/25	ZPE2-225-B-B6-22.5	22,83
80/25	ZPE2-200-B-B6-25	24,17
70/25	ZPE2-180-B-B6-28	27,08
60/25	ZPE2-160-B-B6-25	26,13
50/25	ZPE2-140-B-B6-20	19,43
45/25	ZPE2-125-B-20-B6	19,5
30/25	ZPE2-100-B-22.5-B6	21,46
25/25	ROU1/90-16	16,8
20/25	ROU1/90-16	16,8

Tab. 4.11 tabella riassuntiva riduttori

Il valore del rendimento dei riduttori è stato fornito dall'azienda ZAMBELLO. Per i riduttore ZPE-2 (2 stadi), posizione di montaggio B3 e B6, il rendimento è del 97%. È possibile calcolare la coppia che aziona la vite di estrusione.

$$C_{vite} = C_{motore} \times \eta_{riduttore} \times i \quad (4.4)$$

estrusore	Coppia richiesta all'estrusore [Nm]
120/25	11041
100/25	6983
90/25	5430
80/25	3946
70/25	2704
60/25	1687
50/25	1028
45/25	696
30/25	264
25/25	183
20/25	115

Tab. 4.12 coppia richiesta all'estrusore

Peso

Occorre valutare il peso che tale soluzione comporta dato che, come accennato nell'introduzione del capitolo, l'intero gruppo estrusore è situato su una lavagna basculante. Il peso della struttura ha quindi notevole importanza nel dimensionamento della macchina.

Motore

motore	Peso [Kg]
BQAr 180M	480
BQAr 160P	276
BQAr 160L	247
BQAr 132X	157
BQAr 132L	122
BQAR132SB35	94
BQAR132SB35	94
BQAR100PB35	70
BQCP080XB35	45
AQCa 100S	37
AQCa 100S	37

Tab. 4.13 peso motori

Riduttore

riduttore	Peso [Kg]
ZPE2-280-B-B6-25	1350
ZPE2-250-B-B6-22.5	910
ZPE2-225-B-B6-22.5	655
ZPE2-200-B-B6-25	485
ZPE2-180-B-B6-28	334
ZPE2-160-B-B6-25	253
ZPE2-140-B-B6-20	161
ZPE2-125-B-20-B6	122
ZPE2-100-B-22.5-B6	82
ROU1/90-16	n.d.
ROU1/90-16	n.d.

Tab. 4.14 peso riduttori

Bisogna anche tenere conto dell'olio per il raffreddamento dei riduttori per le taglie superiori di estrusori.

Riduttore	Quantità olio [Kg]
ZPE2-280-B-B6-25	60
ZPE2-250-B-B6-22.5	50
ZPE2-225-B-B6-22.5	40
ZPE2-200-B-B6-25	34
ZPE2-180-B-B6-28	20
ZPE2-160-B-B6-25	14,5
ZPE2-140-B-B6-20	10
ZPE2-125-B-20-B6	7

Tab. 4.15 peso olio

Peso completo riduttore

riduttore	Peso [Kg]
ZPE2-280-B-B6-25	1410
ZPE2-250-B-B6-22.5	960
ZPE2-225-B-B6-22.5	695
ZPE2-200-B-B6-25	519
ZPE2-180-B-B6-28	354
ZPE2-160-B-B6-25	267,5
ZPE2-140-B-B6-20	171
ZPE2-125-B-20-B6	129
ZPE2-100-B-22.5-B6	82
ROU1/90-16	n.d.
ROU1/90-16	n.d.

Tab. 4.16 Peso totale riduttori

Peso totale

Motore+riduttore	Peso [Kg]
120/25	1890
100/25	1236
90/25	942
80/25	676
70/25	476
60/25	361,5
50/25	265
45/25	199
30/25	127
25/25	n.d.
20/25	n.d.

Tab. 4.17 peso totale gruppo motore ed estrusore

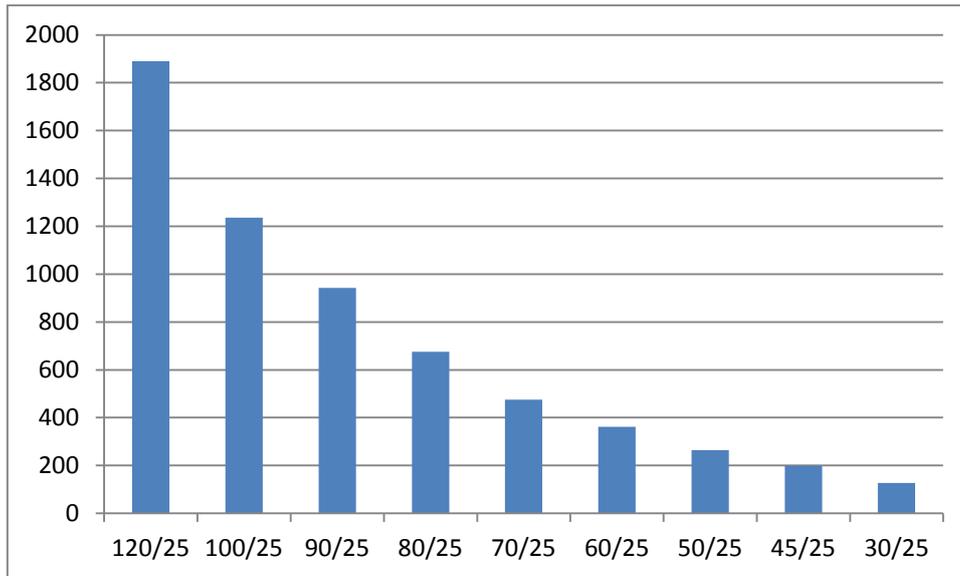


Fig. 4.8 Peso azionamento in funzione della taglia di estrusore

5 Scelta motori coppia

Introduzione

In questo capitolo verranno considerati motori coppia disponibile presso due diversi fornitori. Verrà spiegata la il criterio di scelta di tali motori.

Inoltre verrà valutata la possibilità o meno di acquistare motori comprensivi o meno di reggispinta. La presenza di tale elemento è necessaria nella catena cinematica a causa dell'elevata spinta verso il motore generata dalla vite di plastificazione a causa della pressione interna all'estrusore.



Fig. 5.3 cuscinetto reggispinta

Calcolo specifiche motore coppia

Per procedere con la scelta dei motori coppia da accoppiare direttamente agli estrusori consideriamo una coppia nominale tale da far lavorare il motore al 70% circa del suo carico nominale in condizioni normali di esercizio.

$$Coppia_{motore_coppia} \cong \frac{Coppia_{vite}}{0,7} \quad (5.1)$$

estrusore	Coppia richiesta al motore [Nm]	Velocità di funzionamento [RPM]	Velocità massima [RPM]
120/25	15773	53	76
100/25	9976	59	84
90/25	7757	61	88
80/25	5637	65	94
70/25	3863	70	100
60/25	2410	75	108
50/25	1469	84	120
45/25	994	85	122
30/25	377	95	136
25/25	261	102	146
20/25	164	113	162

Tab. 5.1 tabella riassuntiva specifiche richieste al motore coppia

La tabella precedente consiste nelle specifiche richieste ai motori torque.

Scelta motori coppia

Primo fornitore: Baümmuller

I motori sono stati scelti in base alla vicinanza della loro velocità nominale a quella richiesta in esercizio e in base alla vicinanza della coppia nominale a quella richiesta al motore secondo il criterio di calcolo descritto nel paragrafo precedente.

Motore	Coppia nominale [Nm]	Velocità nominale [RPM]	Coppia funzionamento [% Coppia nominale]
400BO54W-010-5	15400	100	72%
400KM54W-010-5	10100	100	69%
315ZO54W-010-5	8100	100	67%
315XO54W-010-5	5900	100	67%
260BO54W-015-5	3910	100	69%
260ML54W-015-5	2590	100	65%
200BO54W-015-5	1470	100	70%
200LO54W-015-5	1070	150	65%
135LO54W-017-5	350	175	75%
135MO54W-017-5	265	175	69%
135KO54W-017-5	145	175	79%

Tab. 5.2 motori torque Baümmuller scelti

Notiamo che alla coppia di regime il motore avrà un carico corrispondente al $70\% \pm 5\%$ del carico nominale.



Fig. 5.1 motori torque Baümmüller

Per quanto riguarda il costo della soluzione; il fornitore ha differenziato l'offerta tra motori con albero solido senza reggisplinta e albero cavo comprensivo di cuscinetto reggisplinta.

Costo

estrusore	Prezzomotore	Prezzo driver	Prezzo totale
120/25	€ 36.100,00	€ 7.000,00	€ 43.210,00
100/25	€ 27.990,00	€ 5.600,00	€ 33.700,00
90/25	€ 13.900,00	€ 5.300,00	€ 19.310,00
80/25	€ 11.400,00	€ 3.700,00	€ 15.210,00
70/25	€ 9.050,00	€ 3.700,00	€ 12.860,00
60/25	€ 7.000,00	€ 3.000,00	€ 10.110,00
50/25	€ 4.830,00	€ 2.100,00	€ 7.040,00
45/25	€ 4.200,00	€ 1.750,00	€ 6.060,00
30/25	€ 2.650,00	€ 1.300,00	€ 4.060,00
25/25	€ 2.360,00	€ 1.200,00	€ 3.670,00
20/25	€ 2.100,00	€ 1.100,00	€ 3.310,00

Tab. 5.4 offerta con albero solido senza reggispinta

estrusore	Prezzo motore	Prezzo driver	Prezzo totale
120/25	€ 39.500,00	€ 7.000,00	€ 46.610,00
100/25	€ 31.000,00	€ 5.600,00	€ 36.710,00
90/25	€ 17.800,00	€ 5.300,00	€ 23.210,00
80/25	€ 15.350,00	€ 3.700,00	€ 19.160,00
70/25	€ 12.600,00	€ 3.700,00	€ 16.410,00
60/25	€ 10.100,00	€ 3.000,00	€ 13.210,00
50/25	€ 7.200,00	€ 2.100,00	€ 9.410,00
45/25	€ 6.550,00	€ 1.750,00	€ 8.410,00
30/25	€ 3.850,00	€ 1.300,00	€ 5.260,00
25/25	€ 3.600,00	€ 1.200,00	€ 4.910,00
20/25	€ 3.350,00	€ 1.100,00	€ 4.560,00

Tab. 5.5 offerta con albero foro cieco con reggispinta

La soluzione comprensiva di reggispinta risulta essere più costosa.

	120/25	100/25	90/25	80/25	70/25	60/25	50/25	45/25	30/25	25/25	20/25
differenza	8%	9%	20%	26%	28%	31%	34%	39%	30%	34%	38%

Tab. 5.6 differenza di costo tra le due soluzioni

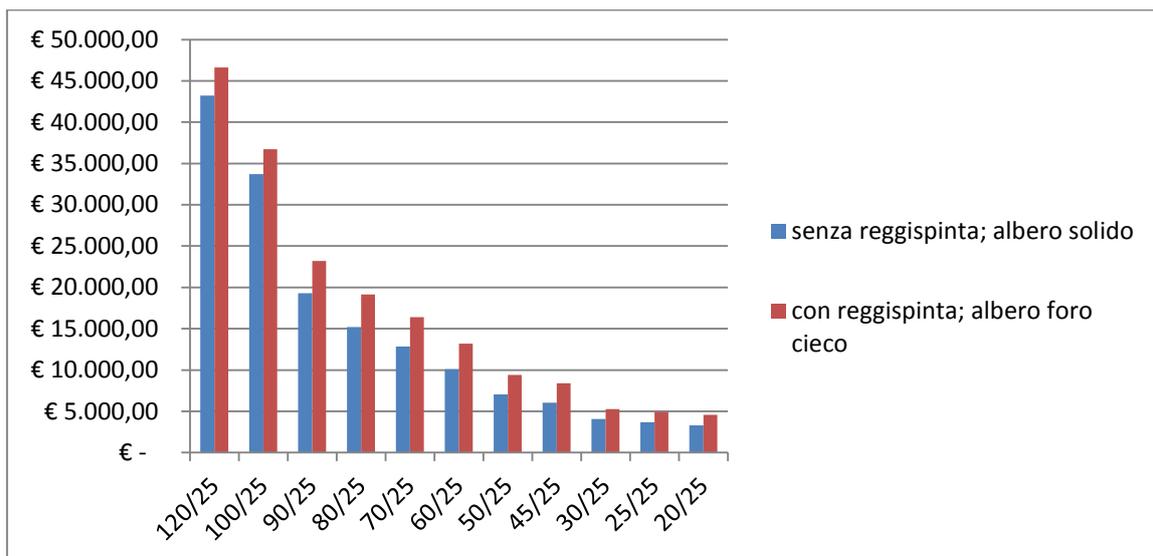


Fig. 5.2 confronto tra le due soluzioni

Rendimento

In seguito riporto i valori del rendimento del motore, nella condizione di funzionamento normale della macchina, forniti dal fornitore.

Motore	Rendimento
400BO54W-010-5	91%
400KM54W-010-5	92%
315ZO54W-010-5	90%
315XO54W-010-5	90%
260BO54W-015-5	88%
260ML54W-015-5	88%
200BO54W-015-5	87%
200LO54W-015-5	86%
135LO54W-017-5	78%
135MO54W-017-5	77%
135KO54W-017-5	78%

Tab.5.7 rendimento dei motori alla condizione di funzionamento

Peso

Motore albero solido	Peso [Kg]
400BO54W-010-5	3095
400KM54W-010-5	2295
315ZO54W-010-5	1150
315XO54W-010-5	930
260BO54W-015-5	741
260ML54W-015-5	549
200BO54W-015-5	377
200LO54W-015-5	316
135LO54W-017-5	132
135MO54W-017-5	115
135KO54W-017-5	97

Tab. 5.8 peso motore con albero solido

Motore albero foro cieco con reggispinta	Peso [Kg]
400BO54W-010-5	3290
400KM54W-010-5	2490
315ZO54W-010-5	1395
315XO54W-010-5	1163
260BO54W-015-5	920
260ML54W-015-5	729
200BO54W-015-5	460
200LO54W-015-5	401
135LO54W-017-5	161
135MO54W-017-5	144
135KO54W-017-5	126

Tab. 5.9 peso motore foro cieco con reggispinta

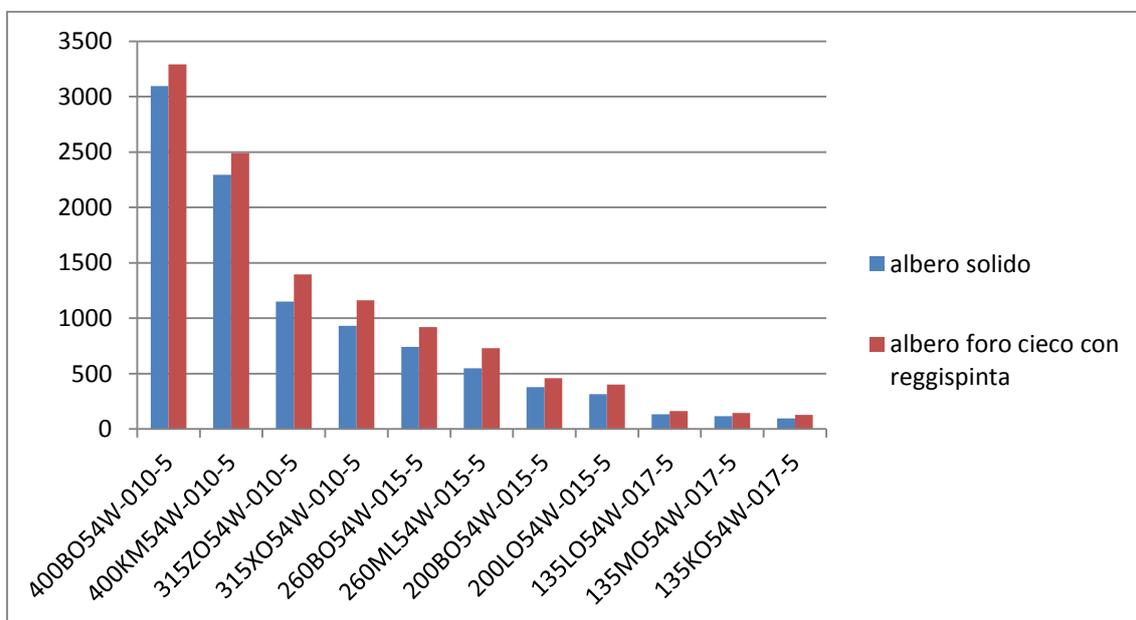


Fig. 5.4 differenza peso tra le due soluzioni

Secondo fornitore: Parker

Come per il primo fornitore, anche in questo caso i motori sono stati scelti in base alla vicinanza della loro velocità nominale a quella richiesta in esercizio e in base alla vicinanza della coppia nominale a quella richiesta al motore

Motore	Coppia nominale [Nm]	Velocità nominale [RPM]	Coppia funzionamento [% Coppia nominale]
TMW408LW	14200	75	78%
TMW406LV	10300	90	68%
TMW30ALU	8430	100	64%
TMW308LU	6620	110	60%
TMW305LU	3940	85	69%
TMW208LU	2640	135	64%
TMW205LT	1570	155	65%

Tab.5.10 Motori torque Parker scelti



Fig.5.5 motore torque Parker

La tabella successiva riporta l'offerta Parker. Essa copre solamente le prime sette taglie di estrusori.

Costo

Estrusore	Prezzo motore		Prezzo driver		Prezzo totale
120/25	€	51.283,20	€	8.646,00	€ 59.929,20
100/25	€	44.130,40	€	8.152,90	€ 52.283,30
90/25	€	32.624,00	€	8.152,90	€ 40.776,90
80/25	€	32.079,44	€	6.289,50	€ 38.368,94
70/25	€	27.314,40	€	3.524,50	€ 30.838,90
60/25	€	21.228,80	€	3.524,50	€ 24.753,30
50/25	€	19.825,60	€	3.203,90	€ 23.029,50

Tab. 5.11 Offerta parker per motori e driver

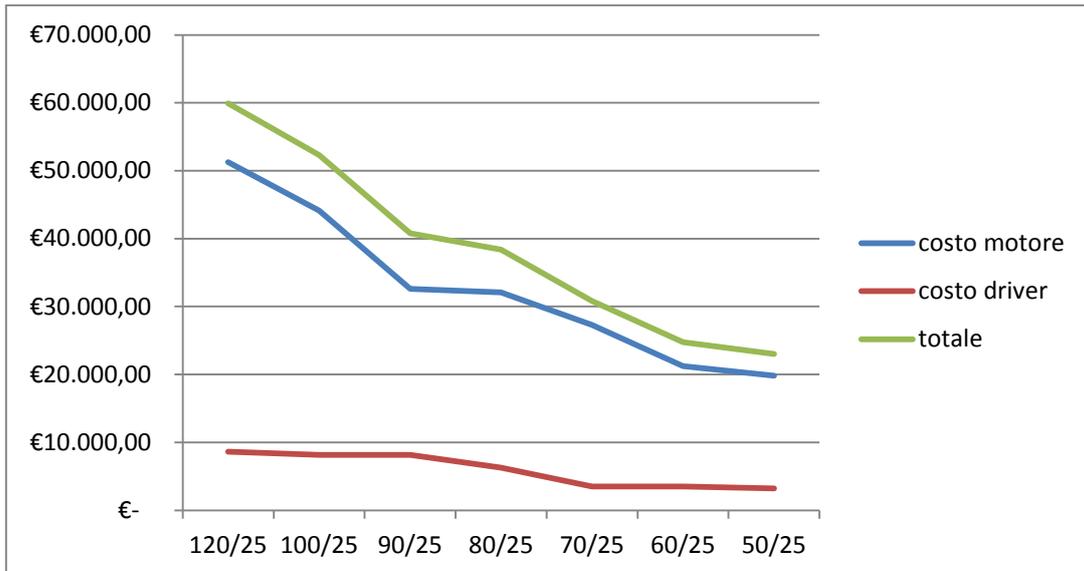


Fig.5.6 andamento costi motore e driver in funzione della taglia di estrusore

Rendimento

Tramite i grafici forniti dal produttore possiamo ricavarci il rendimento alla condizione di funzionamento per ciascun motore.

TMW408L

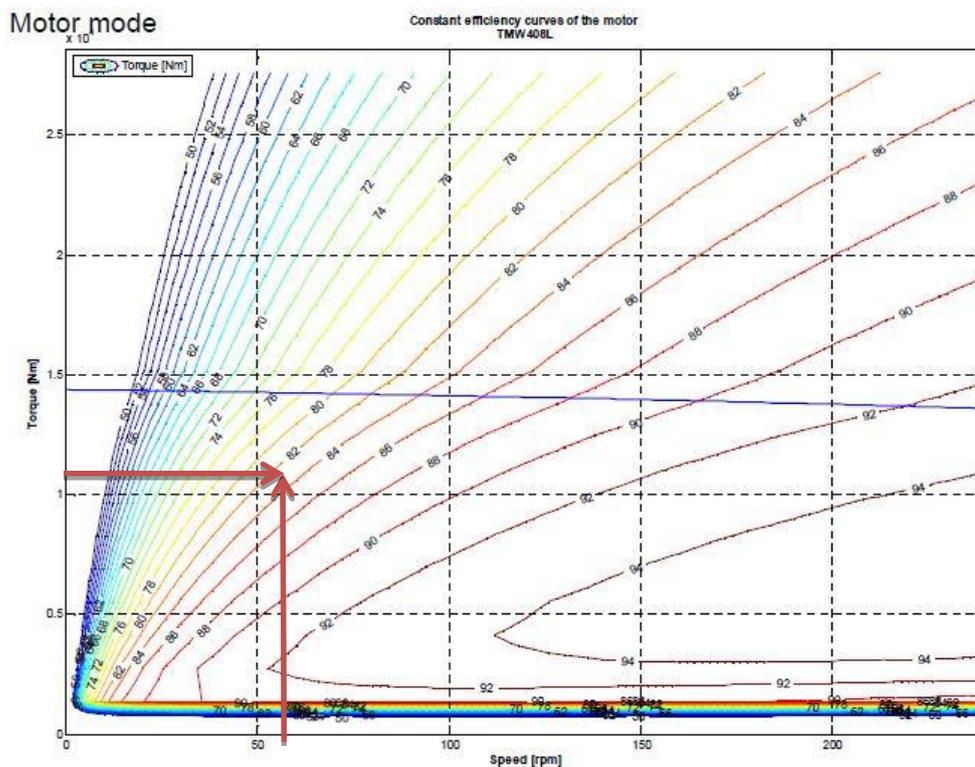


Fig.5.7 TMW408L modalità motore

Il rendimento alla condizione di funzionamento (11000 Nm ; 53 RPM) è di circa 83%

TMW406L

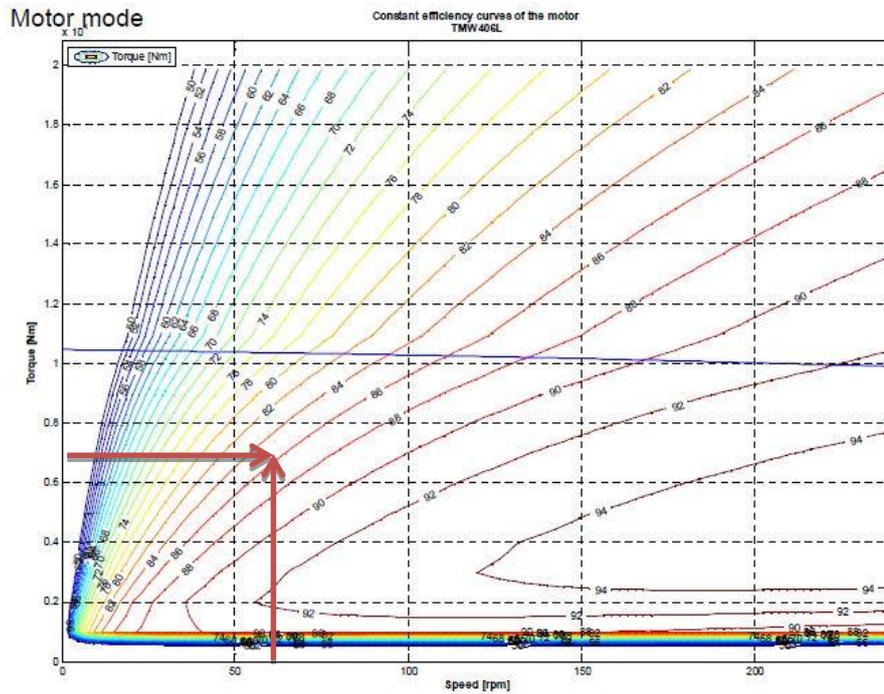


Fig.5.8 TMW406L modalità motore

Il rendimento alla condizione di funzionamento (7000 Nm ; 60 RPM) è di circa 86%

TMW30AL

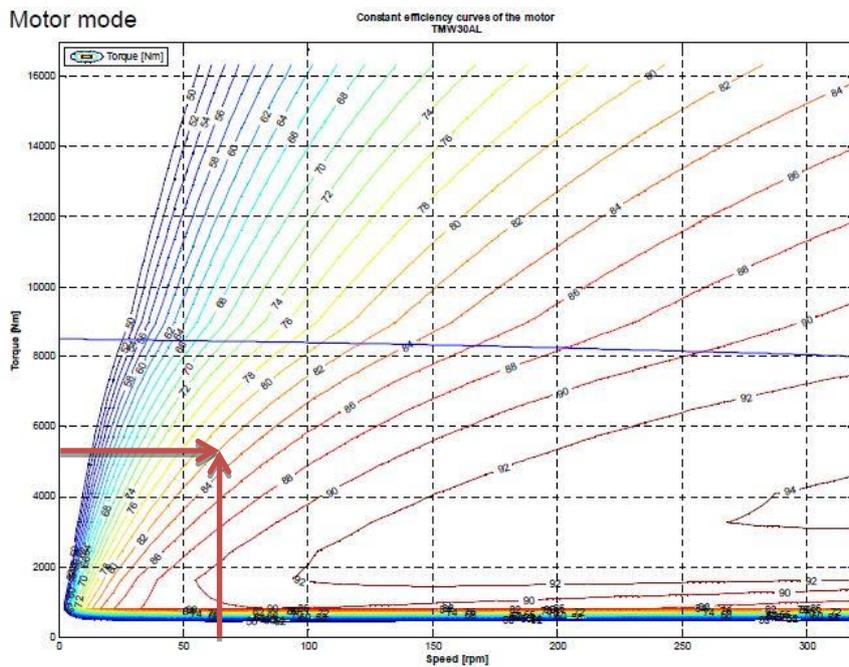


Fig.5.9 TMW40AL modalità motore

Il rendimento alla condizione di funzionamento (5400 Nm ; 60 RPM) è di circa 82%

TMW308L

Motor mode

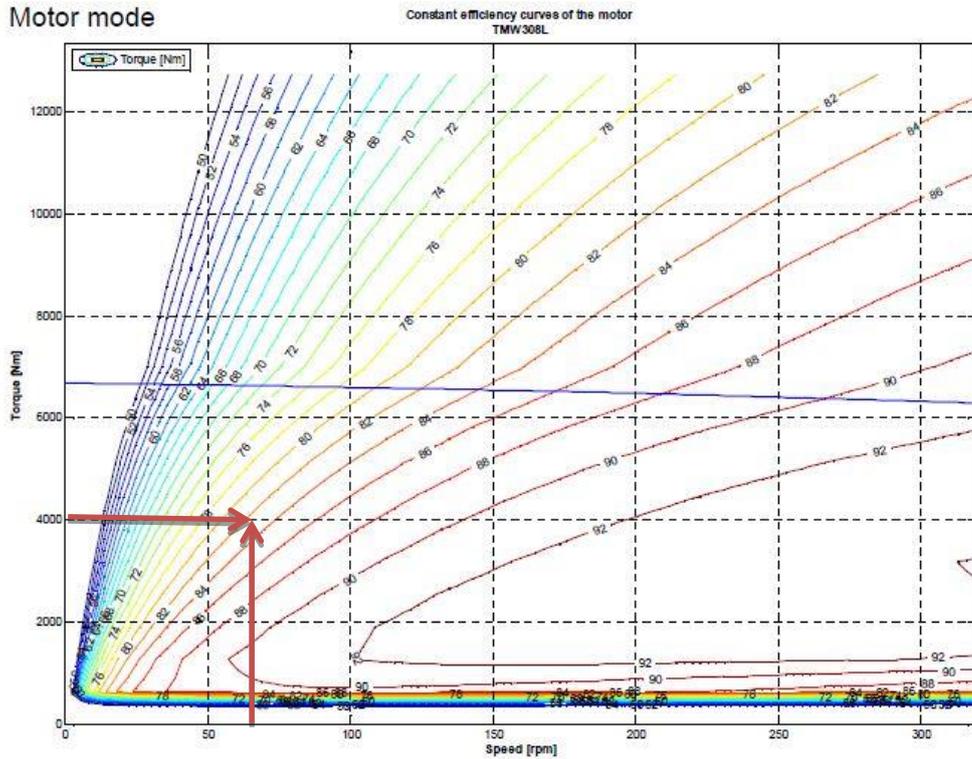


Fig.5.10 TMW308L modalità motore

Il rendimento alla condizione di funzionamento (4000 Nm ; 65 RPM) è di circa 83%

TMW305L

Motor mode

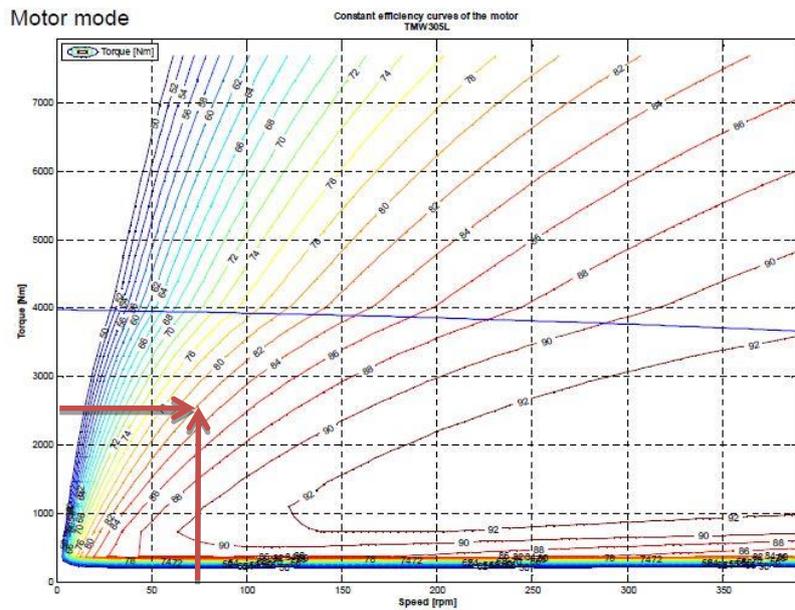


Fig.5.11 TMW305L modalità motore

Il rendimento alla condizione di funzionamento (2700 Nm ; 70 RPM) è di circa 81%

TMW208L

Motor mode

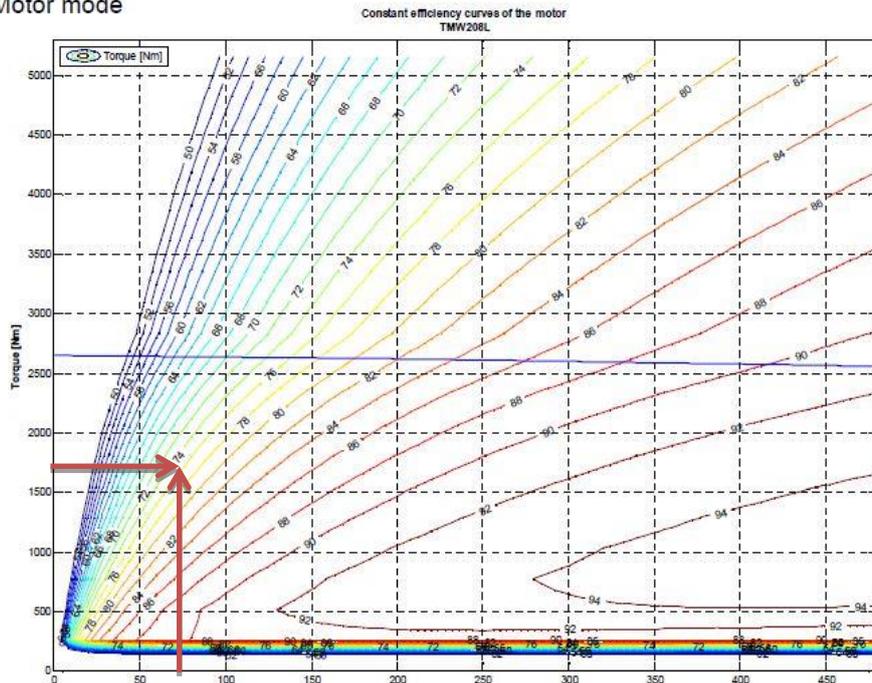


Fig.5.12 TMW208L modalità motore

Il rendimento alla condizione di funzionamento (1700 Nm ; 75 RPM) è di circa 76%

TMW205L

Motor mode

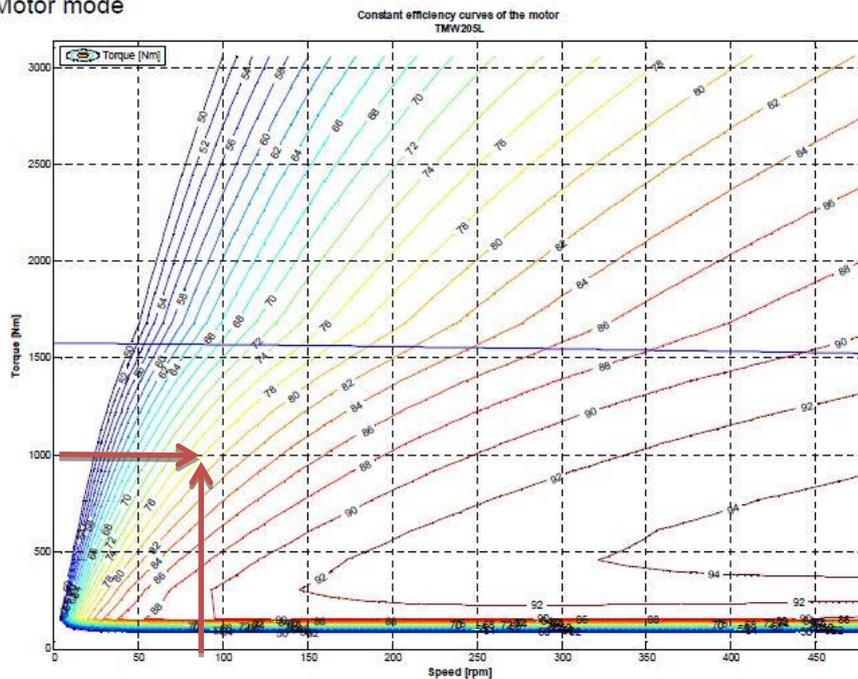


Fig.5.13 TMW205L modalità motore

Il rendimento alla condizione di funzionamento (100 Nm ; 85 RPM) è di circa 79%

Ricapitolando, i rendimenti per i motori alla condizione di funzionamento sono:

Motore	Rendimento
TMW408LW	83%
TMW406LV	86%
TMW30ALU	82%
TMW308LU	83%
TMW305LU	81%
TMW208LU	76%
TMW205LT	79%

Tab. 5.12 rendimento motori alla condizione di funzionamento

Peso

Motore	Peso [Kg]
TMW408LW	1585
TMW406LV	1445
TMW30ALU	840
TMW308LU	800
TMW305LU	665
TMW208LU	450
TMW205LT	380

Tab. 5.13 peso motore

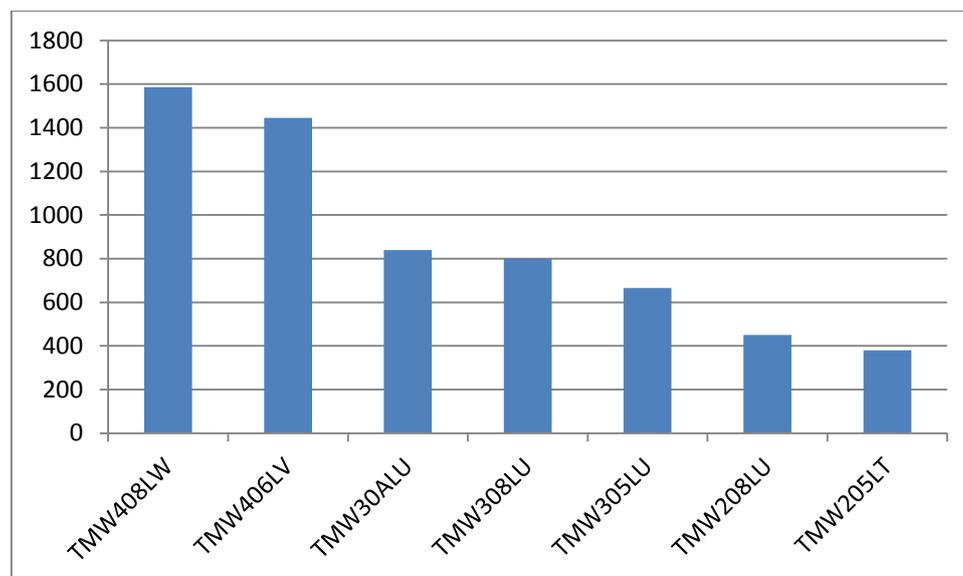


Fig. 5.14 differenza di peso tra i motori

6 Confronti

Confronterò in seguito le soluzioni alternative con il motore coppia e la soluzione attuale per valutarne le differenze in termini di costi e consumi

Confronto con Baumüller

Costo installazione

Per fare un confronto tra le due soluzioni considero la proposta di Baumüller comprensiva di reggispinta.

	Attuale	Baumüller
120/25	€ 22.958,24	€ 46.610,00
100/25	€ 17.453,51	€ 36.710,00
90/25	€ 14.131,99	€ 23.210,00
80/25	€ 10.380,16	€ 19.160,00
70/25	€ 9.129,40	€ 16.410,00
60/25	€ 7.041,07	€ 13.210,00
50/25	€ 6.340,50	€ 9.410,00
45/25	€ 5.248,48	€ 8.410,00
30/25	€ 3.694,56	€ 5.260,00
25/25	n.d.	€ 4.910,00
20/25	n.d.	€ 4.560,00

Tab. 6.1 confronto costi tra le due soluzioni

Notiamo un aumento del costo dell'azionamento notevole, soprattutto per la teglie superiori di estrusori.

	120/25	100/25	90/25	80/25	70/25	60/25	50/25	45/25	30/25	25/25	20/25
Diff.	103%	110%	64%	85%	80%	88%	48%	60%	42%	n.d.	n.d.

Tab.6.2 aumento del costo dell'azionamento

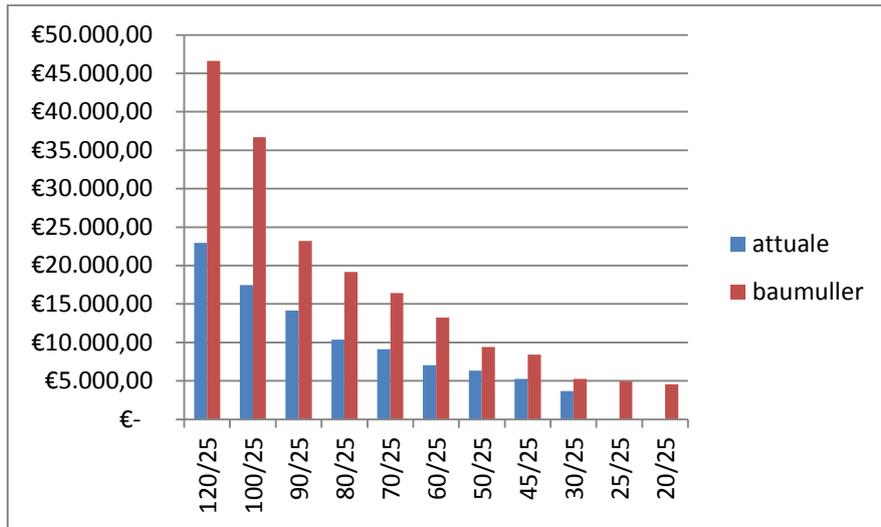


Fig.6.1 confronto due soluzioni

Consumo energetico

Con un procedimento analogo a quello utilizzato per ricavare i costi dell'energia elettrica per la soluzione attuale trovo i costi utilizzando la soluzione con motori torque Baumüller.

$$Pelettrica = \frac{Prichiasta}{\eta_{motore} \times \eta_{driver}} \quad (6.1)$$

$$Prichiasta = Crichiasta \times \omega_{vite} \quad (6.2)$$

Utilizziamo come rendimento motore i valori che sono stati forniti dall'azienda. Come rendimento del driver invece consideriamo un valore del 99%.

estrusore	Pelettrica [kW]
120/25	68,28
100/25	47,21
90/25	39,31
80/25	30,51
70/25	22,75
60/25	15,33
50/25	10,50
45/25	7,31
30/25	3,41
25/25	2,56
20/25	1,77

Tab. 6.3 Potenza elettrica richiesta

Per il calcolo dell'energia consumata all'anno moltiplichiamo la potenza con le ore di funzionamento annuo (7200)

estrusore	Consumo annuo energia [Kwh/anno]
120/25	491630
100/25	339954
90/25	283084
80/25	219731
70/25	163854
60/25	110417
50/25	75658
45/25	52682
30/25	24611
25/25	18481
20/25	12771

Tab.6.4 consumo annuo di energia

Calcolo il costo di tale consumo considerando un costo per kWh di energia elettrica di 0,14 €.

estrusore	Costo energia elettrica annuo
120/25	€ 68828
100/25	€ 47593
90/25	€ 39631
80/25	€ 30762
70/25	€ 22939
60/25	€ 15458
50/25	€ 10592
45/25	€ 7375
30/25	€ 3445
25/25	€ 2587
20/25	€ 1787

Tab.6.5 costo annuo energia elettrica

Confrontando questi dati relativi al costo dell'energia elettrica della soluzione attuale otteniamo:

estrusore	Costo energia elettrica annuo Soluzione attuale	Costo energia elettrica annuo Motore torque	differenza
120/25	€ 69431	€ 68828	0,87 %
100/25	€ 47416	€ 47593	-0,37 %
90/25	€ 38707	€ 39631	-2,39 %
80/25	€ 30723	€ 30762	-0,13 %
70/25	€ 22498	€ 22939	-1,96%
60/25	€ 14999	€ 15458	-3,06 %
50/25	€ 10160	€ 10592	-4,25 %
45/25	€ 7257	€ 7375	-1,62 %
30/25	€ 3144	€ 3445	-9,56 %
25/25	€ 2419	€ 2587	-6,95 %
20/25	€ 1693	€ 1787	-5,58 %

Tab.6.6 differenza costo energia elettrica

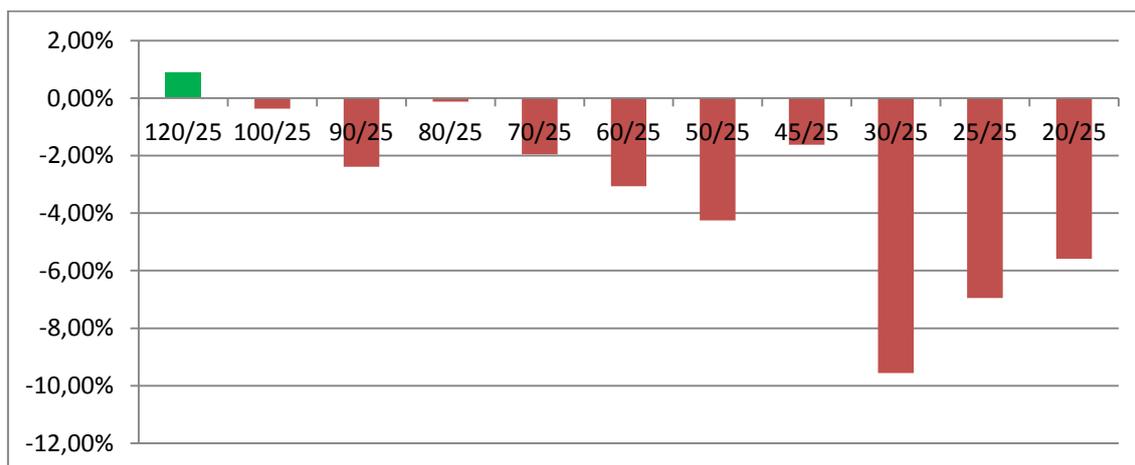


Fig. 6.2 differenza costo energia elettrica

Possiamo vedere dalla tabella, e in maniera più evidente dal grafico, che non riscontriamo un vantaggio dal punto di vista del consumo di corrente.

L'unica taglia di estrusori per la quale possiamo registrare un miglioramento del rendimento è la 120/25 con un calo del consumo del 0,87 % equivalente a 603€ all'anno.

Peso

Evidenzio in seguito le differenze di peso tra la soluzione attuale e la soluzione con motore torque della ditta Baumüller. È stato considerato il caso con albero con foro cieco e reggispinta.

Estrusore	Peso attuale [Kg]	Peso con motore torque [Kg]	aumento
120/25	1890	3290	74%
100/25	1236	2490	101%
90/25	942	1395	48%
80/25	676	1163	72%
70/25	476	920	93%
60/25	361,5	729	102%
50/25	265	460	74%
45/25	199	401	102%
30/25	127	161	27%
25/25	n.d.	144	n.d.
20/25	n.d.	126	n.d.

Tab. 6.7 aumento di peso con la soluzione alternativa

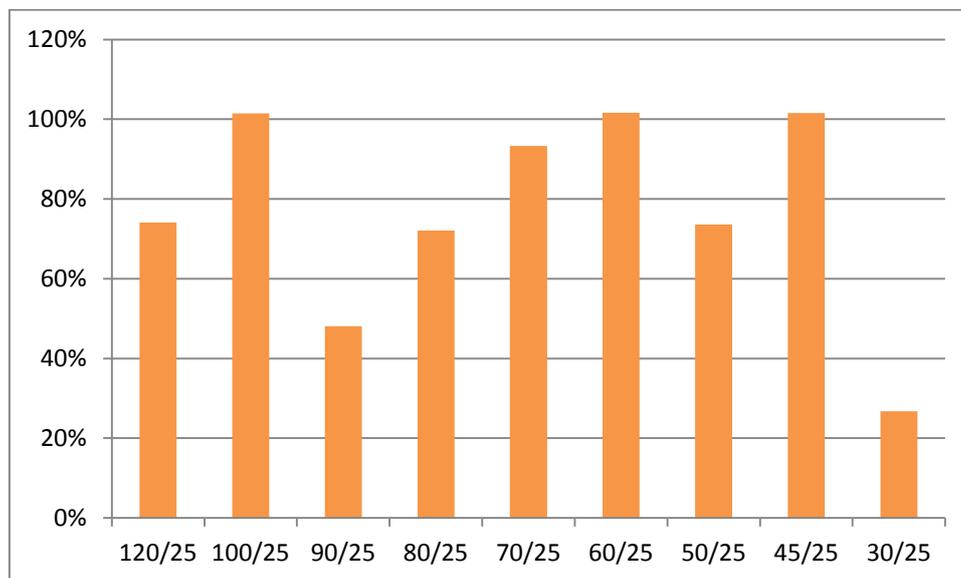


Fig. 6.3 aumento di peso con la soluzione alternativa

Confronto con Parker

Costo installazione

	Attuale	Parker
120/25	€ 22.958,24	€ 59.929,20
100/25	€ 17.453,51	€ 52.283,30
90/25	€ 14.131,99	€ 40.776,90
80/25	€ 10.380,16	€ 38.368,94
70/25	€ 9.129,40	€ 30.838,90
60/25	€ 7.041,07	€ 24.753,30
50/25	€ 6.340,50	€ 23.029,50

Tab. 6.8 confronto costi tra le due soluzioni

Aumento del costo dell'installazione:

	120/25	100/25	90/25	80/25	70/25	60/25	50/25
differenza	161%	200%	189%	270%	238%	252%	263

Tab.6.9 aumento del costo dell'azionamento

Notiamo anche in questo caso un aumento sensibile del costo dell'azionamento.

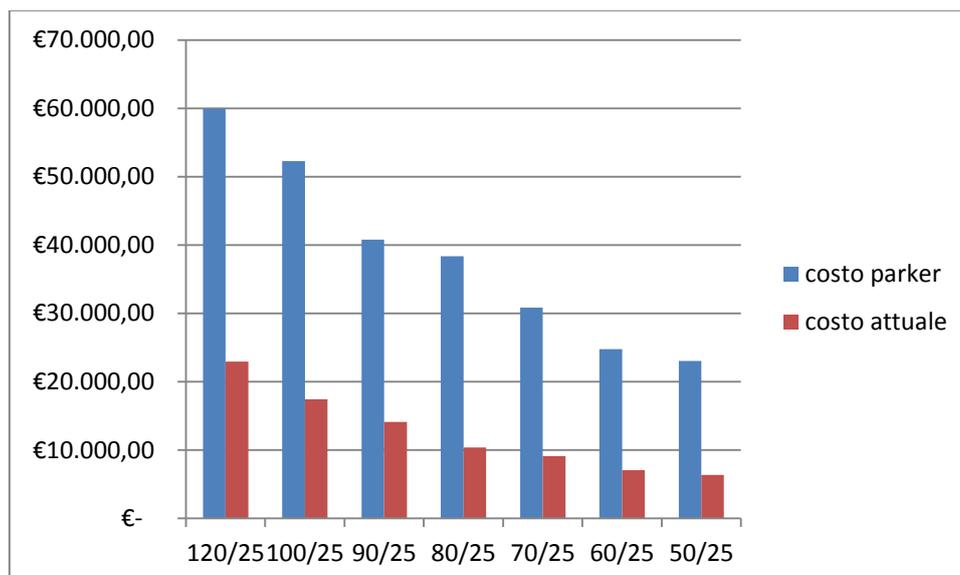


Fig. 6.4 confronto tra le due soluzioni

Consumo energetico

Ricavo la potenza elettrica richiesta da tale soluzione.

estrusore	Pelettrica [kW]
120/25	74,86
100/25	51,71
90/25	44,23
80/25	33,49
70/25	24,42
60/25	17,52
50/25	11,71

Tab. 6.10 Potenza elettrica richiesta

Il consumo annuo di energie elettrica

estrusore	Consumo annuo energia [Kwh/anno]
120/25	539016
100/25	372311
90/25	318470
80/25	241168
70/25	175843
60/25	126190
50/25	84388

Tab.6.11 consumo annuo di energia

Costo energia elettrica annuo per estrusore

estrusore	Costo energia elettrica annuo
120/25	€ 75462
100/25	€ 52126
90/25	€ 44585
80/25	€ 33763
70/25	€ 24618
60/25	€ 17666
50/25	€ 11814

Tab.6.12 costo annuo energia elettrica

estrusore	Costo energia elettrica annuo Soluzione attuale	Costo energia elettrica annuo Motore torque	differenza
120/25	€ 69431	€ 75462	-8,69 %
100/25	€ 47416	€ 52126	-9,93 %
90/25	€ 38707	€ 44585	-15,19 %
80/25	€ 30723	€ 33763	-9,89 %
70/25	€ 22498	€ 24618	-9,42 %
60/25	€ 14999	€ 17666	-17,79 %
50/25	€ 10160	€ 11814	-16,68 %

Tab. 6.13 differenza costo energia elettrica

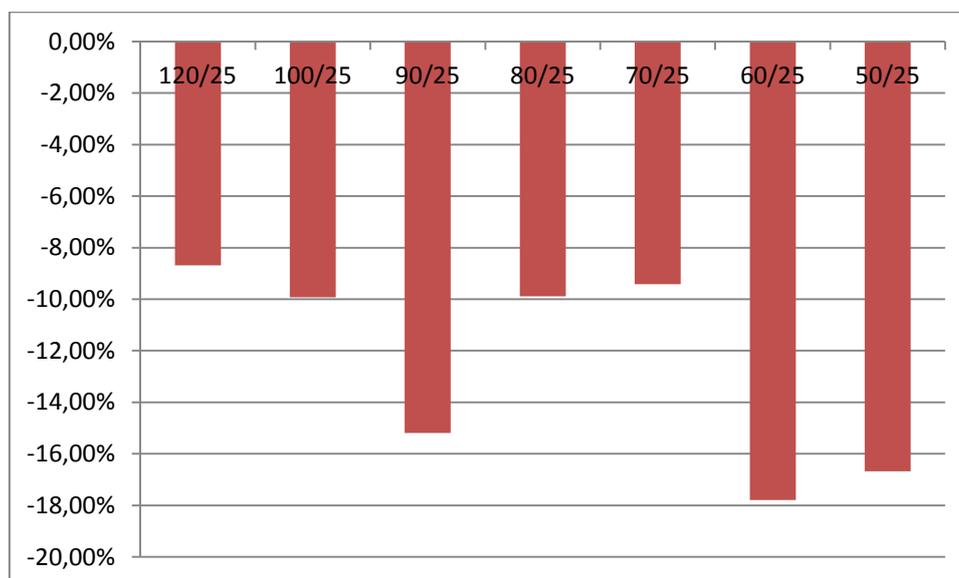


Fig. 6.5 differenza costo energia elettrica

Anche in questo caso notiamo una perdita rispetto alla soluzione precedente. In questo caso anche più marcata rispetto al caso con i motori Baumüller.

Peso

Come per il fornitore precedentemente analizzato metto in evidenza le differenze in termini di peso tra la soluzione attuale e la soluzione con motore torque Parker

Estrusore	Peso attuale [Kg]	Peso con motore torque [Kg]	aumento
120/25	1890	1585	-16%
100/25	1236	1445	17%
90/25	942	840	-11%
80/25	676	800	18%
70/25	476	665	40%
60/25	361,5	450	24%
50/25	265	380	43%

Tab. 6.14 aumento di peso con la soluzione alternativa

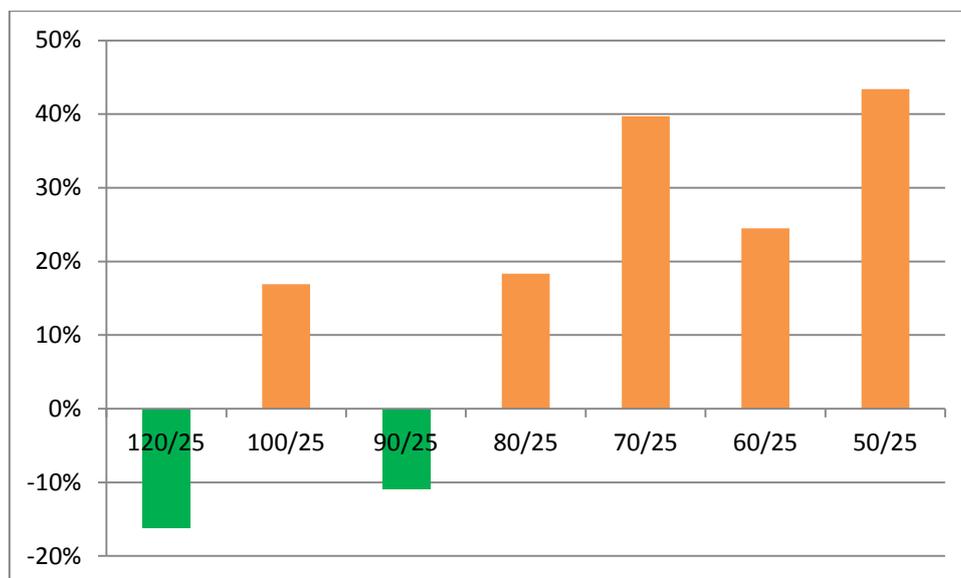


Fig. 6.6 aumento di peso con la soluzione alternativa

Possiamo vedere come in questo caso l'aumento di peso non sia marcato come con il motore Parker. In due casi (120/25 e 90/25) la soluzione alternativa presenta un peso inferiore.

Riepilogo

Costo

	Attuale	Baumüller	Parker
120/25	€ 22.958,24	€ 46.610,00	€ 59.929,20
100/25	€ 17.453,51	€ 36.710,00	€ 52.283,30
90/25	€ 14.131,99	€ 23.210,00	€ 40.776,90
80/25	€ 10.380,16	€ 19.160,00	€ 38.368,94
70/25	€ 9.129,40	€ 16.410,00	€ 30.838,90
60/25	€ 7.041,07	€ 13.210,00	€ 24.753,30
50/25	€ 6.340,50	€ 9.410,00	€ 23.029,50
45/25	€ 5.248,48	€ 8.410,00	
30/25	€ 3.694,56	€ 5.260,00	
25/25	n.d.	€ 4.910,00	
20/25	n.d.	€ 4.560,00	

Tab. 6.15 confronto costo delle tre soluzioni

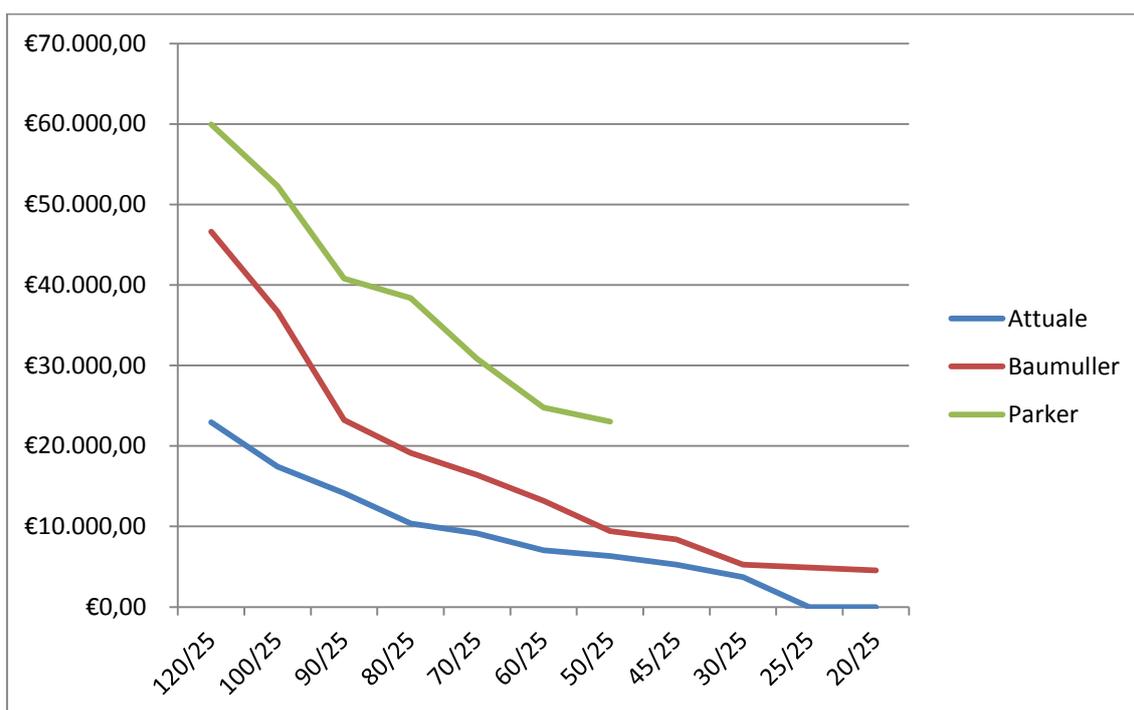


Fig. 6.7 grafico dell'andamento dei costi delle soluzioni in funzione della taglia dell'estrusore

Consumo elettrico

	Attuale	Baumüller	Parker
120/25	€ 69431	€ 68828	€ 75462
100/25	€ 47416	€ 47593	€ 52126
90/25	€ 38707	€ 39631	€ 44585
80/25	€ 30723	€ 30762	€ 33763
70/25	€ 22498	€ 22939	€ 24618
60/25	€ 14999	€ 15458	€ 17666
50/25	€ 10160	€ 10592	€ 11814
45/25	€ 7257	€ 7375	
30/25	€ 3144	€ 3445	
25/25	€ 2419	€ 2587	
20/25	€ 1693	€ 1787	

Tab. 6.16 costo energia elettrica annuo

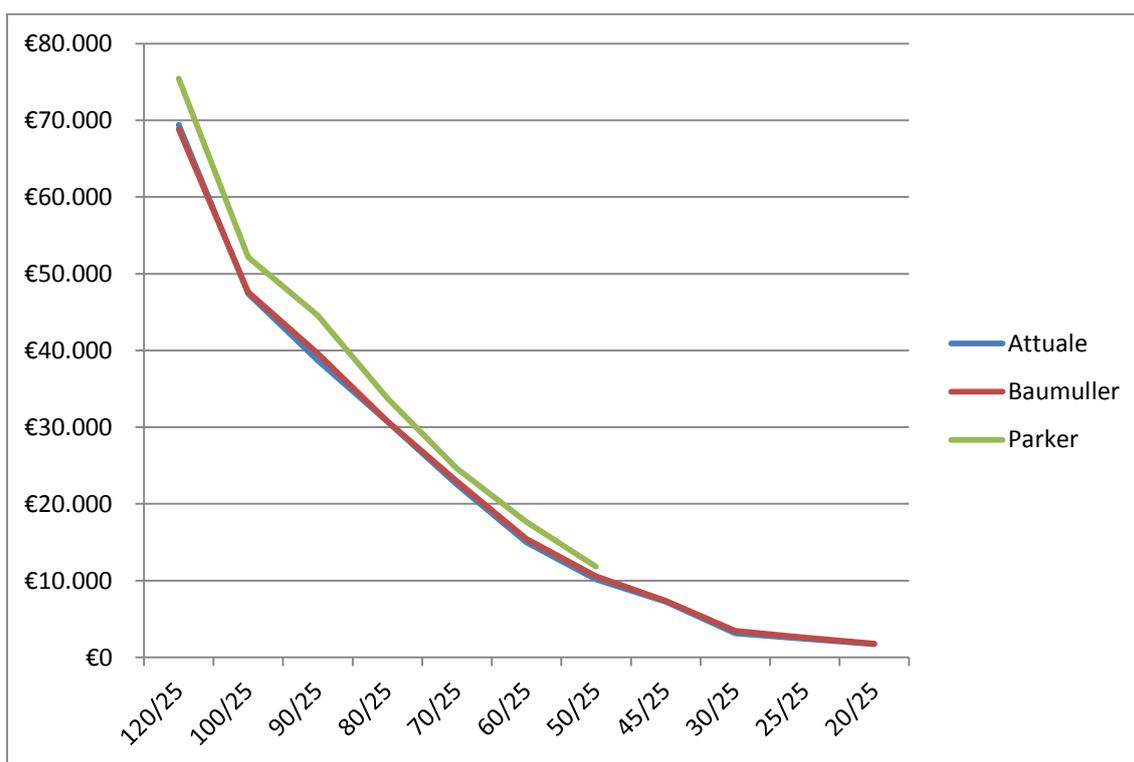


Fig. 6.8 andamento costo dell'energia elettrica annuo in funzione della taglia dell'estrusore

Peso

	Attuale	Baumüller	Parker
120/25	1890	3290	1585
100/25	1236	2490	1445
90/25	942	1395	840
80/25	676	1163	800
70/25	476	920	665
60/25	361,5	729	450
50/25	265	460	380
45/25	199	401	
30/25	127	161	
25/25	n.d.	144	
20/25	n.d.	126	

Tab. 6.16 peso dell'azionamento

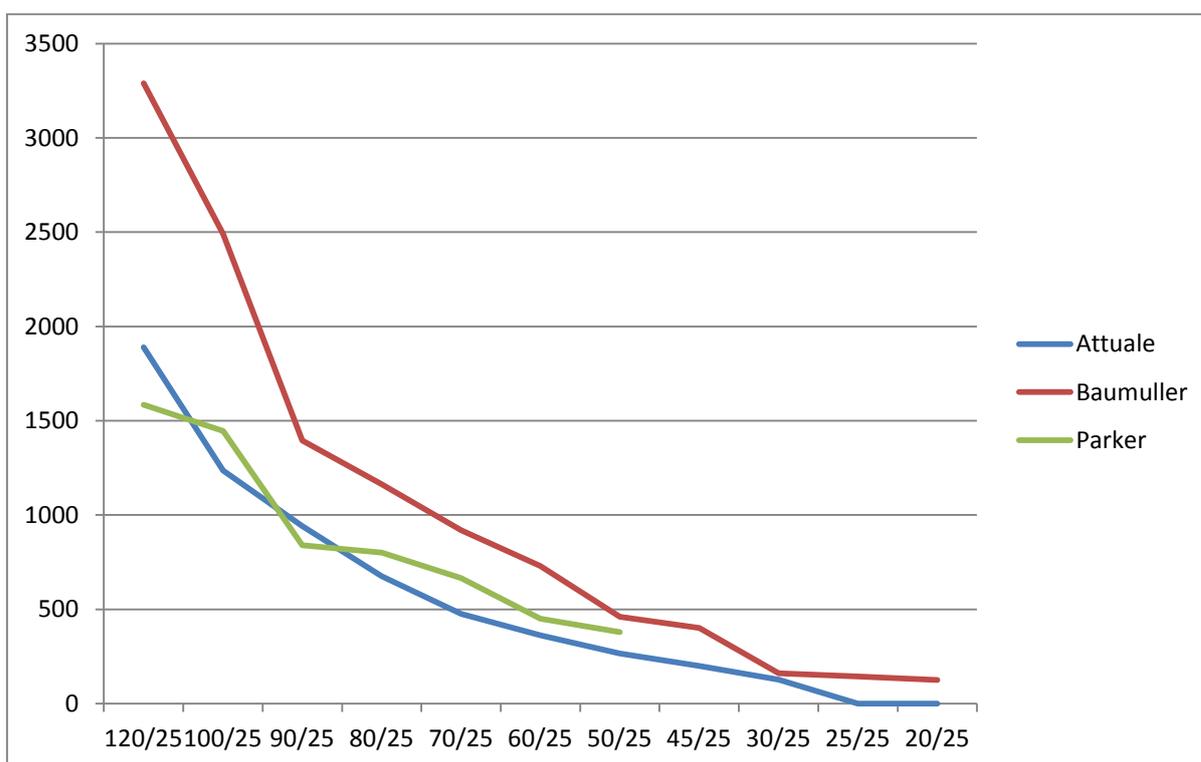


Fig. 6.9 andamento del peso dell'azionamento in funzione della taglia dell'estrusore

7 Conclusioni

Conclusione

Per un confronto tra le tre soluzioni sono state considerate solo le taglie per le quali sono disponibili tutti i dati; cioè le prime sette taglie di estrusori.

Costo installazione

Valutando i dati riportati nel capitolo precedente possiamo notare un aumento del costo delle soluzioni alternative, con motore coppia, rispetto alla soluzione adottata attualmente.

	Baumüller	Parker
120/25	2,030208	2,610357
100/25	2,103302	2,995575
90/25	1,642373	2,885432
80/25	1,845829	3,696373
70/25	1,797489	3,377977
60/25	1,876135	3,515559

Tab. 7.1 aumento del costo dell'installazione con motore coppia rispetto alla soluzione con motore asincrono e riduttore

La soluzione con motore Baumüller risulta costare da 2 a 3 volte in più rispetto alla soluzione attuale con motore asincrono e riduttore. La soluzione con motore Parker risulta anch'essa essere più costosa della attuale; con un aumento che varia da 2,5 a 3,7 volte il costo attuale.

Consumo energetico

Notiamo che dal punto di vista energetico non si presentano i risultati che ci si aspettava dall'eliminazione del riduttore dalla catena cinematica.

	Baumüller	Parker
120/25	-1%	9%
100/25	0%	10%
90/25	2%	15%
80/25	0%	10%
70/25	2%	9%
60/25	3%	18%

Tab. 7.2 aumento consumo elettrico rispetto alla soluzione con motore asincrono e riduttore

Tranne per il caso del motore Baumüller per la taglia di estrusore 120/25 notiamo un generalizzato calo del rendimento e quindi un aumento del consumo energetico. Il calo è

contenuto per le soluzioni con motori Baumüller, mentre risulta essere più marcato, arrivando anche oltre il 15% con le soluzioni con motore Parker.

Peso

	Baumüller	Parker
120/25	1,740741	0,838624
100/25	2,014563	1,169094
90/25	1,480892	0,89172
80/25	1,720414	1,183432
70/25	1,932773	1,397059
60/25	2,016598	1,244813

Qualora si ritenesse conveniente utilizzare tali motori ed installarli sulla lavagna di supporto degli estrusori, il peso diventa una componente importante per il corretto dimensionamento della stessa

Tab.7.3 aumento del peso rispetto alla soluzione con motore asincrono e riduttore

Da questo punto di vista registriamo un aumento di circa due volte nel caso adottassimo la soluzione con motori Baumüller. Risulta meno evidente l'aumento di peso, invece, se adottassimo la soluzione con motori Parker. In questo caso notiamo addirittura un calo del peso complessivo della soluzione per gli estrusori di taglia 120/25 e 90/25.

Considerazioni

La soluzione con motore coppia non risulta conveniente. Risulta, in generale, essere più costosa di quella attuale e il risparmio energetico previsto non viene raggiunto a causa, fondamentalmente, del notevole calo di rendimento dei motori coppia al fuoriuscire dei parametri di funzionamento rispetto a quelli ottimali.

Soluzione costruttiva

Ho valutato una possibile soluzione costruttiva che consenta di accoppiare l'estrusore al motore.

Requisito fondamentale, oltre alla trasmissione della coppia, è la possibilità di scaricare il rotore da qualsiasi tipo di sforzo assiale, in questo caso provocato dalla vite di estrusione.

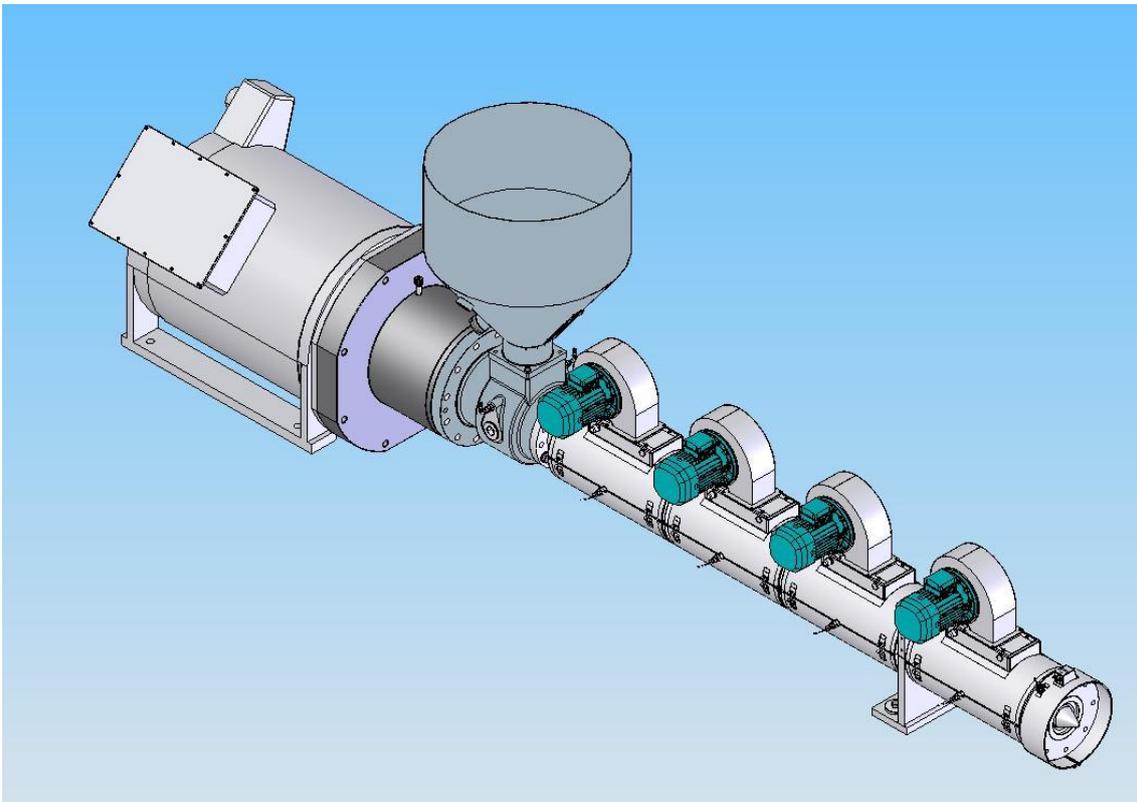


Fig. 7.1 soluzione con motore coppia su estrusore 100/25

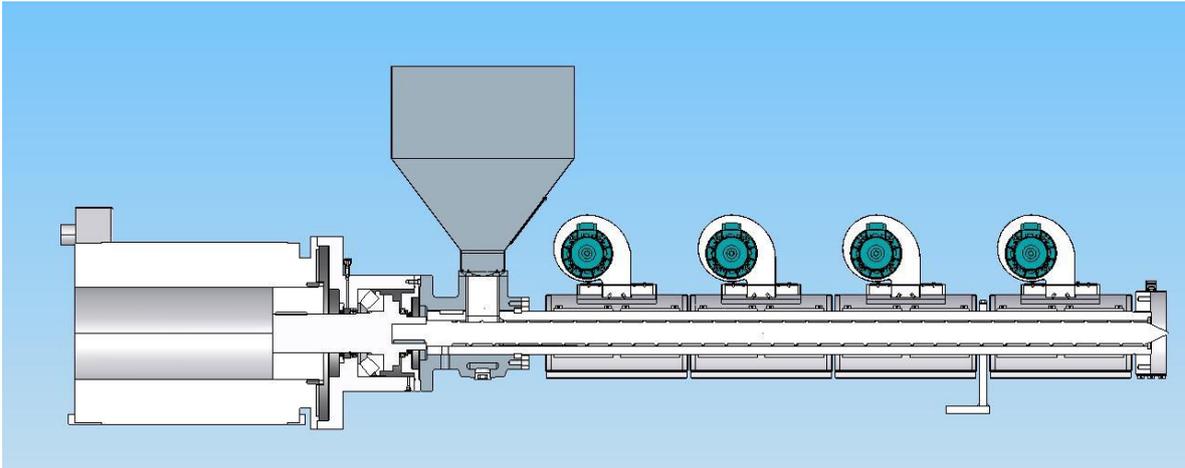


Fig. 7.2 Vista in sezione

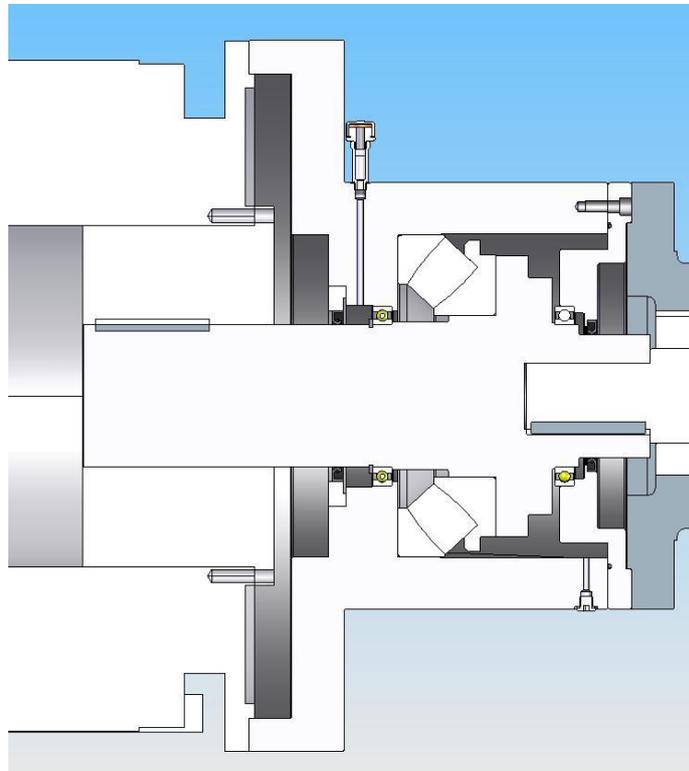


Fig. 7.3 particolare della sezione

Nella figura 7.3 possiamo vedere che il momento torcente viene trasmesso, tramite un codolo di collegamento, dal rotore del motore alla vite.

Lo sforzo assiale derivante dalla vite, invece, viene scaricato sullo statore del motore attraverso un cuscinetto reggispinta.

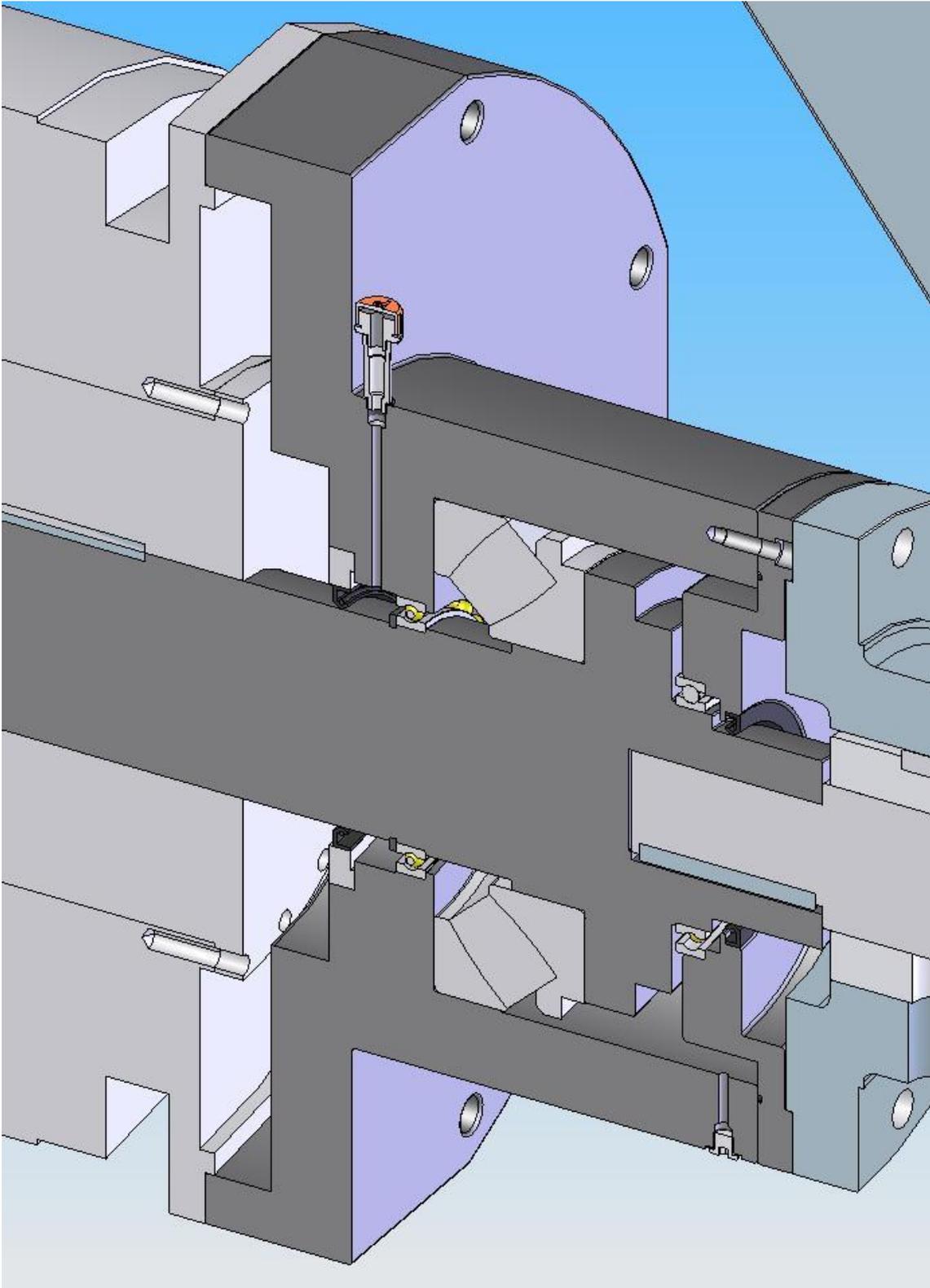


Fig. 7.4 particolare della sezione-vista isometrica

Bibliografia

- S. Brukner, G. Allegra, M. Pegoraro, F. La Mantia, **Scienza e Tecnologia delle Materie Plastiche**
- M. Guaita, F. Ciardelli, F. La Mantia, E. Pedemonte, **Fondamenti di Scienza dei Polimeri**
- Rauwendaal; **Polymer extrusion**
- Timothy W. Womer ; **Basic screw geometry**
- Paul N. Colby ; **Screw and Barrel Technology**
- Arthur Holzkecht ; **Direct Drive Torque Motors for Machine Tool Applications**
- Florence Meier ; **Permanent-Magnet Synchronous Machines with non-Overlapping Concentrated Windings for Low-Speed Direct-Drive Applications**
- **McGraw-Hill: Dictionary of Scientific and Technical Terms**